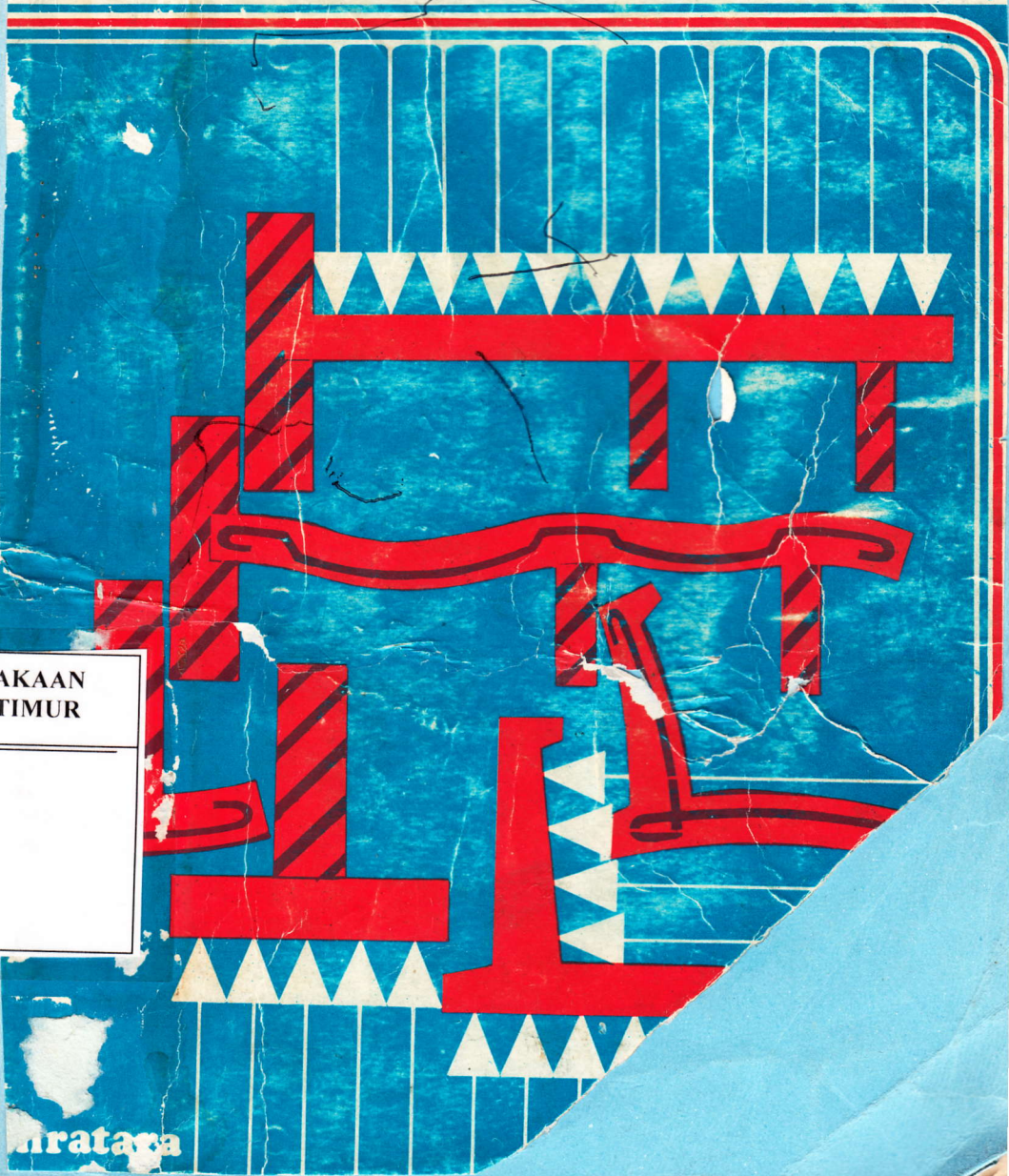
ILM KONSTRUKSI UNTUK
AHLI BANGUNAN DAN
AHLI BANGUNAN AIR

JILID 1



STAKAAN
A TIMUR
R

nratara

ILMU KONSTRUKSI UNTUK

AHLI BANGUNAN

DAN

AHLI BANGUNAN AIR

JILID 1

Oleh

Ir. I. W. Nortier

Ir. F. Vink

Judul Asli :

Constructieleer Voor Bouw - en Waterbouwkundigen

Penterjemah :

B. S. Anwir

FUMIGASI
1996/1997

— 1979 —

BHRATARA KARYA AKSARA – JAKARTA

MILIK
PERPUSTAKAAN DAERAH
JAWA TIMUR
Nomor : 57.967 /PD/ P /1993
Tanggal : 12/2 1993

© Hak terjemahan dalam edisi bahasa Indonesia 1979 dimiliki oleh Penerbit Bhratara Karya Aksara, Jakarta.

© 1973 Copyright Original Edition Stam Technische Boeken B. V., Educaboek B. V., Culemborg, The Netherlands.

Proyek Pembinaan Perpustakaan
Jawa Timur
T. A. 1992 / 1993

ISI BUKU

I. **Bentuk-konstruksi purbakala yang terpenting**

1. **Bangunan-arkhitraf** *3*
2. **Bangunan-lengkung** *9*
3. **Perkembangan lebih lanjut** *14*

II. **Beberapa sifat mekanis dan sifat alamiah dari bahan-bangunan**

Ikhtisar simbol *19*

4. **Gaya, massa, dan bobot** *21*
   - 4.1 Gaya *21*
     - 4.1.1. Gaya dan gerak *21*
     - 4.1.2. Keseimbangan gaya *26*
     - 4.1.3. Beban dan tegangan *29*
   - 4.2 Massa dan bobot *30*
5. **Pengertian Umum dari ilmu kekuatan** *33*
   - 5.1 Kekuatan dan tegangan yang diizinkan *33*
   - 5.2 Jenis tegangan *36*
     - 5.2.1. Tegangan-tekan *36*
     - 5.2.2. Tegangan-tarik *38*
     - 5.2.3. Tegangan-geser *39*
     - 5.2.4. Tegangan-lengkung *40*
     - 5.2.5. Tegangan-tekuk *42*
   - 5.3 Kekenyalan (elastisitas) *43*
   - 5.4 Pemuaian lurus *51*
   - 5.5 Eksponen *57*
6. **K a y u** *60*
   - 6.1 Tegangan yang diizinkan *60*
   - 6.2 Tegangan *62*
     - 6.2.1. Tegangan-tekan *62*
     - 6.2.2. Tegangan-tarik *63*
     - 6.2.3. Tegangan-geser *64*
     - 6.2.4. Tegangan-lengkung *65*

PERPUSTAKAAN DAERAH JAWA TIMUR
JL. MENUR PUMPUNGAN No. 2
S U R A B A Y A

6.2.5. Tegangan-tekuk *65*

6.3 Menyusut dan melembung *68*

6.3.1. Cara menggergaji *68*

6.3.2. Menyusut *68*

6.3.3. Melembung *72*

6.4 Elastisitas (kekenyalan) dan pemuaian *72*

7. B a t u *74*

7.1 Tegangan yang diizinkan *74*

7.2 Tegangan yang bekerja *74*

7.2.1. Tegangan-tekan dan massa-jenis *74*

7.2.2. Tegangan-tarik *77*

7.2.3. Tegangan-geser *79*

7.2.4. Tegangan-lengkung *79*

7.2.5. Tegangan-tekan yang diizinkan dalam kolom dinding tembok sehubungan dengan bahaya-tekukan *80*

7.3 Elastisitas *81*

7.4 Pemuaian *81*

7.5 Mortel *83*

7.6 Penyusutan *84*

8. B a j a *86*

8.1 Tegangan diizinkan dan kekuatan *86*

8.2 Tegangan *86*

8.2.1. Tegangan-tekan *86*

8.2.2. Tegangan-tarik *86*

8.2.3. Tegangan-geser *87*

8.2.4. Tegangan-lengkung *90*

8.2.5. Tegangan-tekuk *90*

8.3 Elastisitas *94*

8.4 Pemuaian *94*

8.5 Massa-jenis *94*

9. Beton bertulang *98*

9.1 Bahan *98*

9.1.1. Beton bertulang = beton + baja *98*

9.1.2. Tulang-beton *98*

9.1.3. Air *98*

9.1.4. Perbandingan campuran *100*

9.2 Tegangan *100*

9.2.1. Prinsip dari peralihan-gaya *100*

9.2.2. Tegangan-geser *101*

9.2.3. Tegangan-tekuk *108*

9.3 Elastisitas *110*

9.4 Pemuaian *111*

10. Beton pra-tekan *113*

10.1 Bahan : tegangan yang diizinkan *113*

10.2 Prinsip dari peralihan-gaya *113*

10.3 Berbagai sistem tentang penjangkaran dan pra-tekan *116*

10.4 Penggunaan-bahan *118*

11. T a n a h *122*

11.1 Jenis-tanah : massa-jenis *122*

11.2 Tegangan : pemboran-tanah dan sondasi *123*

11.3 Daerah-tegangan *124*

11.4 Pengeraman *132*

11.5 Batas-pembekuan *138*

11.6 Tegangan-tanah yang diizinkan *138*

11.7 Beban horisontal oleh tanah dan oleh air *138*

11.7.1. Tegangan-air *138*

11.7.2. Tekanan-tanah *141*

11.7.3. Tekanan-tanah oleh beban-atas *146*

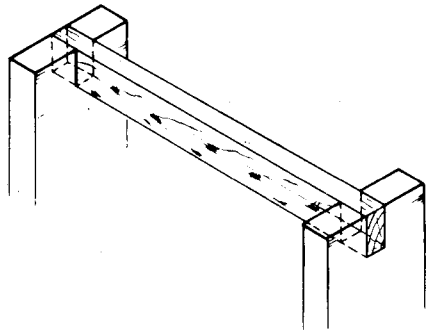
11.8 Penyerahan dan pemadatan *149*

12. Soal-ulangan *150*

I. Bentuk-konstruksi purbakala yang terpenting

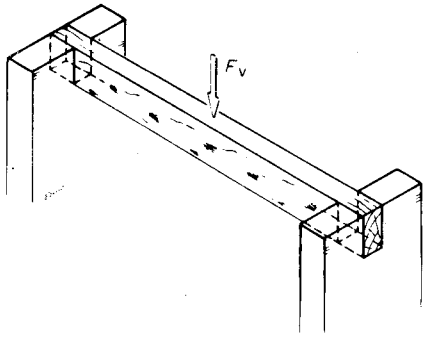
1. BANGUN–ARKHITRAF

Sampai awal tahun Masehi, terutama masih dilaksanakan konstruksi "balok di atas dua titik-tumpuan". Konstruksi ini dinamakan "bangun-arkhitraf". Arkhitraf itu adalah kata dalam bahasa Yunani untuk sebuah balok yang membentang antara jarak dua kolom (gambar 1-1).



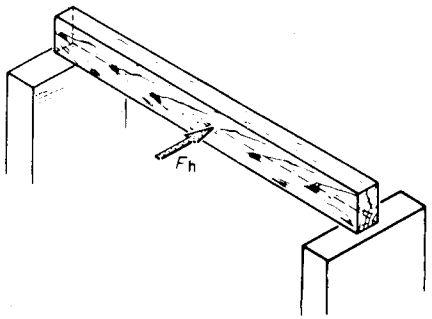
Gambar 1-1

Konstruksi ini tahan terhadap gaya vertikal (F_v) yang dapat dilakukan terhadap balok (gambar 1-2).



Gambar 1-2.

Jikalau pada balok (gambar 1-3) juga bekerja gaya *horisontal* (F h), maka konstruksi akan ambruk, jikalau gaya tidak ditahan oleh umpamanya dinding-tembok.

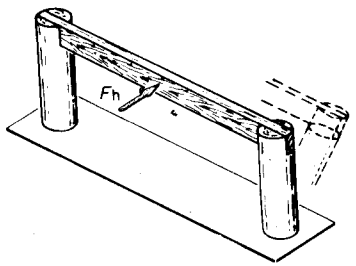


Gambar 1-3.

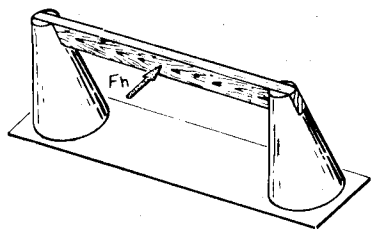
Gaya ditunjukkan dengan huruf besar F, yang berasal dari kata Inggeris Force (= gaya). Perhatikan juga di sini kata Belanda *"forceren"* (= dipaksa), yang berarti melakukan sesuatu dengan *menggunakan tenaga.* Pada gaya vertikal, ditambahkan huruf v kecil dan pada gaya horisontal, ditambahkan huruf h kecil.

Jikalau konstruksi tidak dapat menahan gaya horisontal, maka dikatakan bahwa konstruksi *tidak cukup mempunyai stabilitas samping.* Yang dimaksud dengan *stabilitas,* ialah kemampuan sesuatu konstruksi untuk mempertahankan keseimbangannya di bawah pengaruh gaya. Balok dalam gambar 4 dapat diberi stabilitas samping yang lebih besar, yaitu dengan jalan memberi *pelebaran-kaki* kepada titik-tumpuan. Pelebaran itu dapat dilakukan dengan berbagai macam cara (gambar 1-5 dan gambar 1-6).

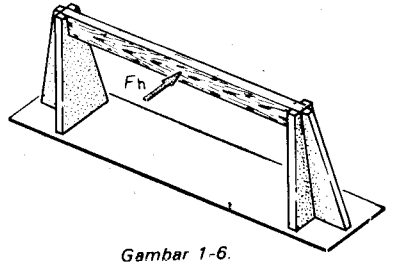
Bahkan pada beban horisontal yang besar, bila dibandingkan dengan beban vertikal, pelebaran-kaki itu ternyata sangat bermanfaat.



Gambar 1-4.

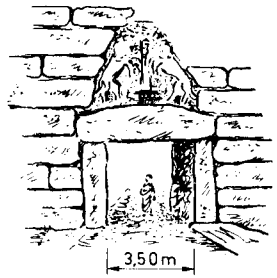


Gambar 1-5.



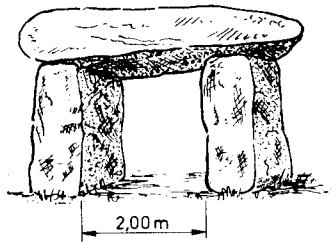
Gambar 1-6.

Juga pada zaman dahulu kala telah diusahakan untuk memperbesar stabilitas dari konstruksi. Pada gambar 1-7, dilukiskan "Gerbang-Singa dari Mykene". Gerbang ini memperoleh stabilitasnya dari dinding di mana gerbang itu terdapat.



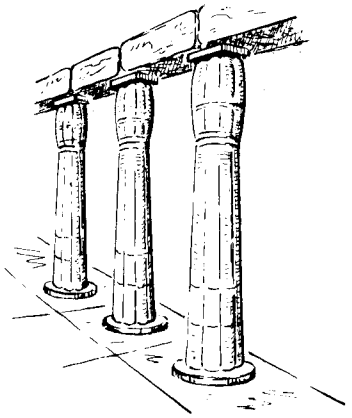
Gambar 1-7. Gerbang-Singa di Mykene (kira-kira 1500 tahun sebelum Masehi)

Suatu contoh yang lain terlihat pada sistim kaki gajah (hunebedden). Stabilitasnya, di sini diperoleh dari kaki batu-alam yang lebar dan berat. (gambar 1-8).

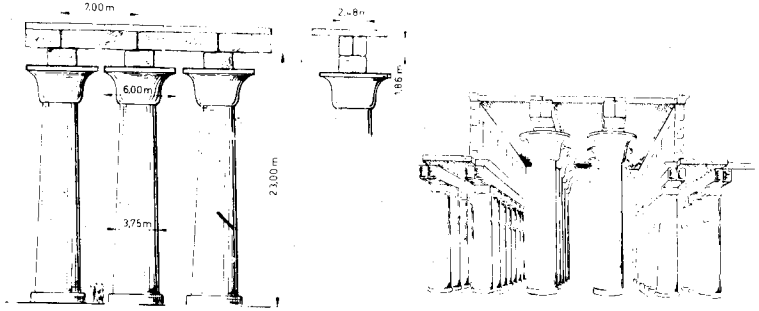


Gambar 1-8. Sistim kaki gajah (hunebed) (kira-kira 3000 tahun sebelum Masehi)

Orang-orang Mesir mempergunakan kolom, yang karena garistengahnya yang besar (besar terhadap jarak dari pusat ke pusat kolom), memberikan stabilitas-samping kepada bangunan (gambar 1-9 dan gambar 1-10).



Gambar 1-9. Kolom-kolom dari Mesir (kira-kira 1200 tahun sebelum Masehi)



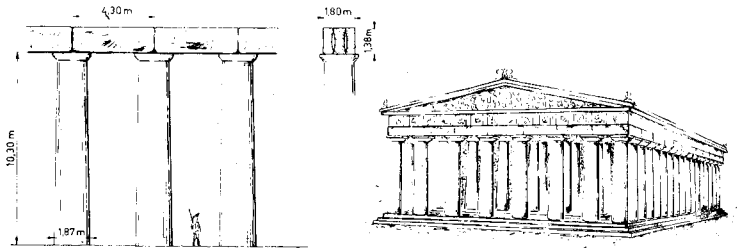
Gambar 1-10. Candi-Ammon di Karnak, Mesir (kira-kira 1200 tahun sebelum Masehi)

Karena perbaikan dalam organisasi, lambat laun dimungkinkan pembuatan konstruksi dengan ukuran yang sangat besar. Secara teknik, konstruksi sesungguhnya tak ada yang berubah. Konstruksi itu tetap merupakan suatu balok dengan dua buah titik-tumpuan. Pada gambar 1-10 diberikan suatu sketsa dari sebagian candi-Ammon di Karnak. Ruangan yang dilukiskan, mempunyai ukuran luas sebesar 100 m x 50 m.

Atap ditahan oleh 134 buah tiang. Perhatikanlah perbandingan antara manusia dan tiang. Perhatikan juga bentangan yang kecil dari batu-alam

(7.00 m) bila dibandingkan dengan ukuran-tiang. Juga orang-orang Yunani, dalam pembangunannya tidak mencapai lebih dari bangun-arkhitraf.

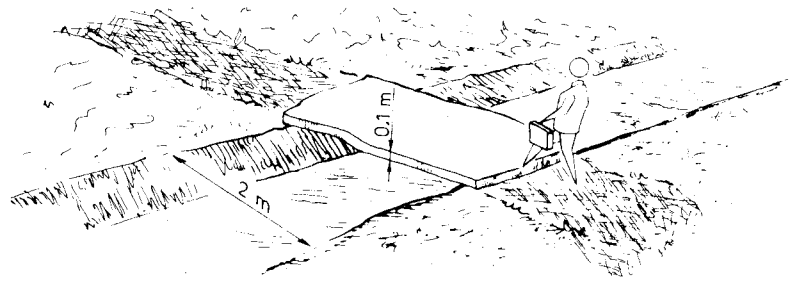
Pada gambar 1-11, diperlihatkan sebuah contoh tentang hal ini, yaitu "Parthenon" di Atena. Walaupun mungkin untuk membentang ruangan besar dengan bangun-arkhitraf, akan tetapi inipun ada batasnya juga. Tidak mungkin untuk memperbesar skala tanpa batas dari konstruksi-bentangan.



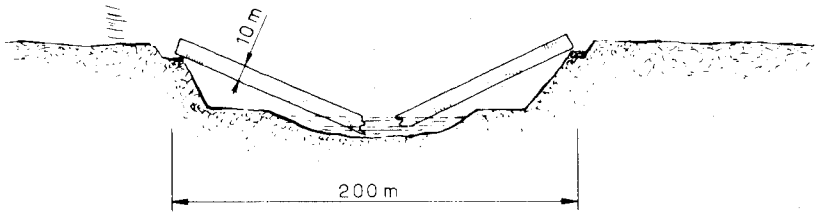
Gambar 1-11. Parthenon di Atena (th. 432 sebelum Masehi)

Sebuah pelat batu-alam dapat dipakai sebagai jembatan untuk manusia. Selain dari pada bobot-diri, konstruksi-bentangan juga mendukung suatu beban berguna (gambar 1-12). Jikalau konstruksi diperbesar sampai 100 x, maka konstruksi itu akan ambruk karena bobot-dirinya (ini akan dibuktikan pula di kemudian hari). Jadi konstruksi semacam itu tidak mungkin ada (gambar 1-13).

Tiap sistim-konstruksi, pada pilihan bahan tertentu, mempunyai bentangan-maksimum yang tertentu. Pada bentangan yang lebih besar, konstruksi itu tidak mungkin ada.



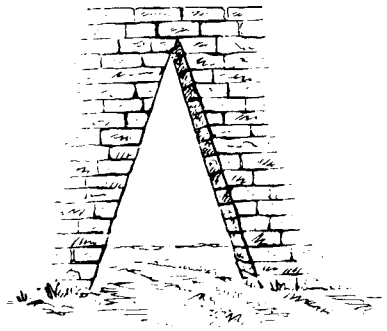
Gambar 1-12.



Gambar 1-13.

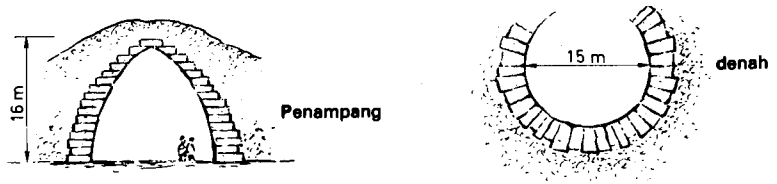
2. BANGUN–LENGKUNG

Rakyat yang berkebudayaan di zaman purbakala (kira-kira 1500 tahun sebelum Masehi), mempergunakan sistim *bangun-tumpuk* (= stapelbouw). Batu-batu lepas ditumpuk menjadi suatu dinding yang pejal. Bangun-tumpuk dengan *susunan kerah-atas* (= overkraging), memberi kemungkinan bentangan yang lebih besar daripada sebuah balok di atas dua titik-tumpuan (gambar 2-1).



Gambar 2-1. Gerbang di Missolunghi
Bentangan oleh susunan kerah-atas (=overkraging)

Kira-kira 5000 tahun sebelum Masehi, rakyat Babilonia telah membangun suatu jenis konstruksi-lengkung untuk menutupi saluran irigasinya. Kubah-samaran (= schijngewelf) dapat dipandang sebagai peralihan dari suatu konstruksi bercoak (uitkraging constructie) ke konstruksi-lengkung (gambar 2-2).

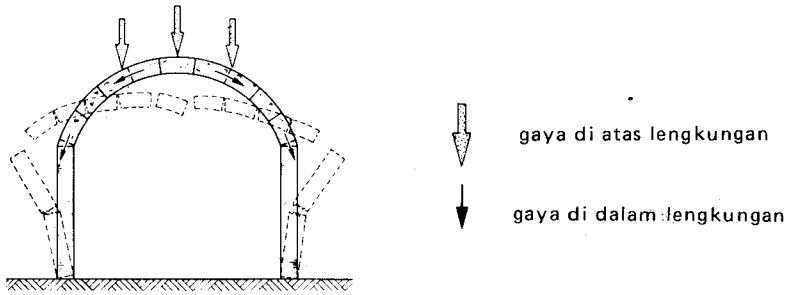


Gambar 2-2. Kubah-samaran dari apa yang dinamakan "Kamar chazanah dari Atreus" di Mykene.

Pada masa Kerajaan Romawi, yaitu kira-kira pada awal hitungan tahun Masehi, *konstruksi-lengkung* itu berkembang dengan pesat sekali. Dengan konstruksi-lengkung itu, dicapai kemungkinan untuk membuat bentangan yang besar dengan potongan batu yang kecil-kecil (gambar 2-3).

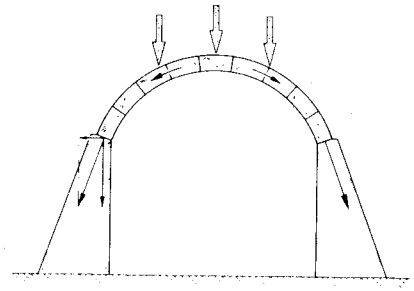
Gambar 2-3

Suatu akibat secara konstruktif yang penting dari suatu konstruksi-lengkung ialah, bahwa khusus pada beban vertikal di atas lengkungan, lengkungan itu sendiri disamping melakukan gaya vertikal, juga melakukan gaya *horizontal* pada titik-tumpuan. Lengkungan ingin "menyimbah" ("spatten"). Jadi suatu lengkungan yang hanya dipasang di atas kolom tidak mungkin ada (gambar 2-4).

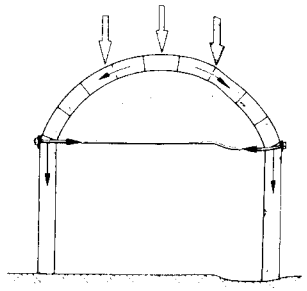


Gambar 2-4.

Gaya horizontal di atas titik-tumpuan dapat disangga oleh dinding berat yang pejal, yang dinamakan ..... (steunberen) (gambar 2-5). Selain daripada itu, terdapat juga kemungkinan untuk saling mengatasi gaya di sebelah menyebelah lengkungan dengan menggunakan sebuah *batang-tarik* (gambar 2-6).



Gambar 2-5.

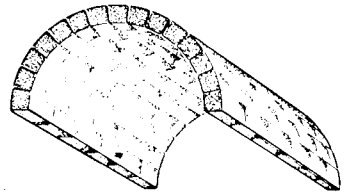


Gambar 2-6.

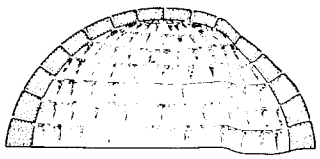
Orang-orang Romawi melaksanakan konstruksi-lengkungan itu dalam berbagai macam bentuk, seperti:

- *kubah setengah silinder (gambar 2-7);*
- *kubah-cembung (gambar 2-8);*
- *kubah-silang.*

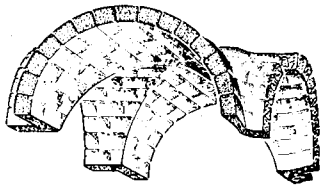
Adapun kubah-silang itu, adalah persilangan dari dua buah kubah setengah-silinder (= kubah-tong).



Gambar 2-7. Kubah setengah silinder

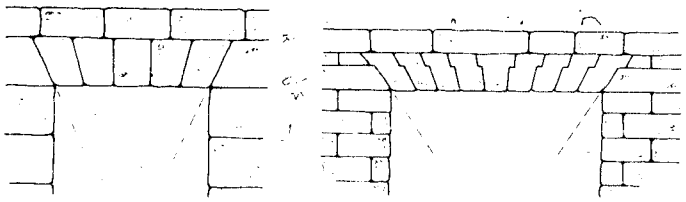


Gambar 2-8. Kubah-cembung



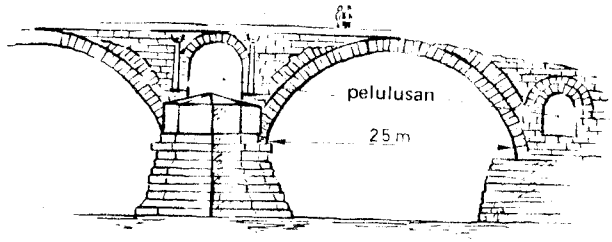
Gambar 2-9. Kubah-silang

Kubah yang dibuat lurus, disingkat dengan kubah lurus, banyak pula dilaksanakan oleh orang-orang Romawi (gambar 2.10). Keuntungan yang besar dari konstruksi semacam ini ialah, bahwa dengan bagian-bagian yang kecil (batu bentuk baji) kita dapat membuat bentangan yang cukup besar. Untuk mencegah pengendapan (= zetting) dan pengeraman (= doorzakking), batu-batu yang berbentuk baji itu kadang-kadang diperlengkapi dengan kait.



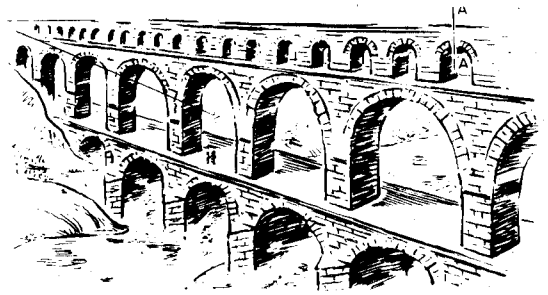
Gambar 2-10. Kubah yang dibuat lurus atau kubah-lurus

Kemungkinan-kemungkinan dari konstruksi-lengkungan yang jauh lebih besar bila dibandingkan dengan balok di atas dua buah titik-tumpuan, terlihat dengan nyata bila dibandingkan bentangan dalam gambar 2.11 dengan pekerjaan-bangunan yang besar dari Mesir dan dari Yunani (gambar 1.10 dan gambar 1.11). Perhatikan juga lubang-laluan untuk air-sungai pada sikap air-sungai yang tinggi.



Gambar 2-11. Pons Fabricus di Roma (62 tahun sebelum Masehi)

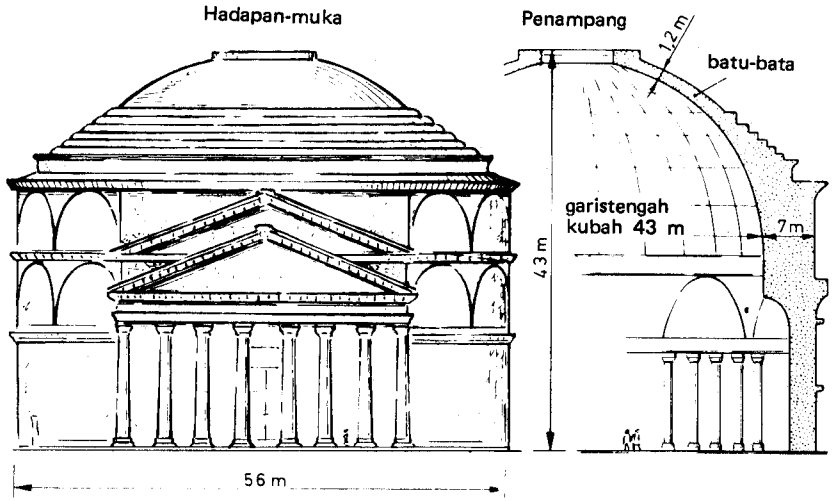
Pada gambar 2-11, dilukiskan sebuah akuaduk dari buatan Romawi. Juga di sini ternyata bahwa bangun-busur sangat banyak dilaksanakan.



Gambar 2-12. Akuaduk Romawi di Nimes (kira-kira 19 tahun sebelum Masehi). Bentangan lengkung besar kira-kira 15 m; jumlah ukuran tinggi seluruh konstruksi 59 m.

Akhirnya, pada gambar 2-13 diperlihatkan suatu contoh lagi dari konstruksi-kubah dari orang-orang Romawi. Bangunan ini adalah Pantheon di Roma. Akan tetapi, bangun-mukanya adalah sebuah portal dalam bangun-arkhitraf menurut contoh dari Yunani.

Bangun-muka itu dipandang dari sudut konstruksi, tidak ada sangkut-pautnya dengan konstruksi-kubah.



Gambar 2-13. Pantheon di Roma (kira-kira 123 tahun sesudah Masehi)

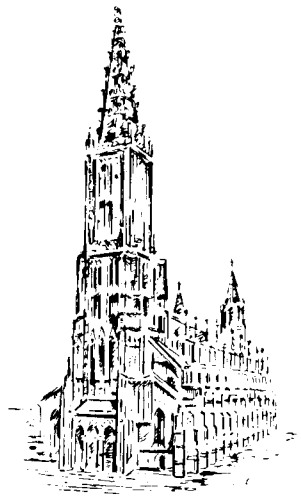
3. PERKEMBANGAN LEBIH LANJUT

Apa yang dinamakan *seni-bangunan Roman* semenjak 1000 tahun sesudah Masehi, bila ditinjau dari sudut konstruksi, tidak banyak artinya. Pada waktu itu terutama dilaksanakan kubah setengah silinder. Dinding harus dapat menahan gaya vertikal dan gaya horizontal yang dilakukan oleh kubah. Akibatnya ialah, bahwa konstruksi harus dibuat sangat berat dan mantap (gambar 3-1). Jadi pada waktu itu terdapat seni-bangunan Roman, akan tetapi bukan teknik-konstruksi Roman.

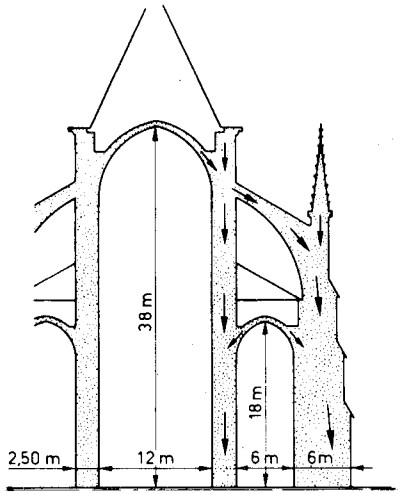
Setelah periode Roman menyusul periode *gotik*. Gotik itu adalah suatu seni-bangunan yang baru. Selain daripada itu, dalam gotik dilaksanakan suatu teknik-konstruksi yang baru. Pemikiran tentang kubah yang pejal ditinggalkan. Orang-orang pada waktu itu beralih ke sistim-kubah di atas rusuk (gambar 3-2 dan 3-3).

Jadi gotik itu adalah sejenis bangunan-kerangka (gambar 3-4).

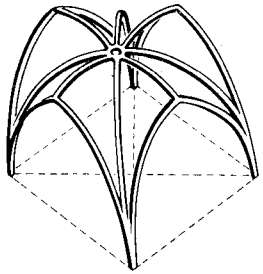
Gambar 3-1.
Gereja di Worms (th. 1100-1200)



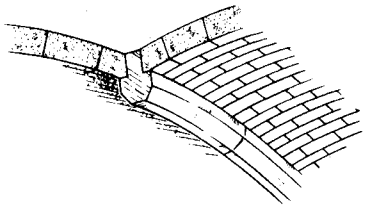
Gambar 3-2.
Gereja di Ulm (kira-kira th. 1500)



Gambar 3-3. Penampang melalui sistim-rusuk dari suatu bangunan gotik dengan kerja-gaya



Gambar 3-4. Sistim-rusuk dari suatu kubah-silang gotik (kira-kira th. 1200 sesudah Masehi)



Gambar 3-5. Atap-kubah didukung oleh rusuk-rusuk, yang merupakan konstruksi-dukung utama.

Hanya sistim-rusuk mempunyai fungsi yang mendukung (gambar 3.5). Di antara pemikul-kubah (= gewelfjukken) terdapat kemungkinan untuk membuat lubang-jendela dan lubang-cahaya yang besar. Konstruksi pada gotik tidak begitu pejal bila dibandingkan dengan bangunan dari Roman.

Pada gotik, konstruksi itu lebih curam (= ijler)

Semenjak gotik sampai kira-kira tahun 1900, tidak terdapat perkembangan konstruksi yang baru. Bila ditinjau dari sudut konstruksi, ini berarti perioda diam atau malahan perioda kemunduran. Akan tetapi ada juga terdapat beberapa macam seni-bangunan yang baru, seperti:

- renaissance (gambar 3-6);
- barok (gambar 3-7);
- klasik, neo-gotik (gambar 3-8 dan 3-9).

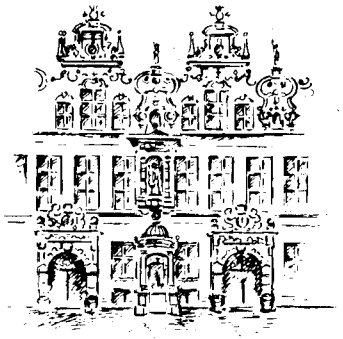
Renaissance berarti lahir kembali. Renaissance itu dapat dianggap sebagai pembaharuan dari cara-kesenian dan cara-hidup yang berlangsung pada waktu itu.

Barok ditandai oleh suatu sifat yang berlebih-lebihan (ramai, tak teratur dan berliku-liku).

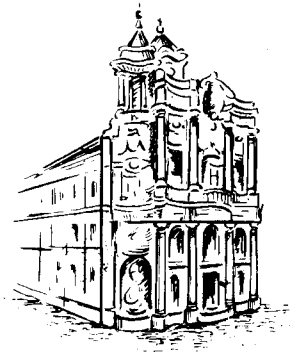
Yang dimaksud dengan *klasik,* ialah penonjolan-kesenian yang diakibatkan oleh adanya orang-orang Yunani dan orang-orang Romawi.

Jadi pada waktu itu terjadi perubahan, tetapi tidak terdapat teknik-konstruksi yang baru.

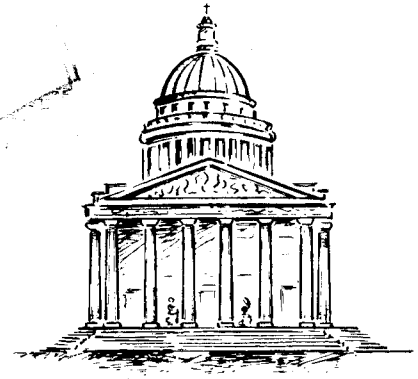
Sesudah tahun 1900, berkembang teknik-konstruksi yang baru. Konstruksi itu diteliti secara ilmiah (mekanika pelaksanaan, ilmu kekuatan). Teknik-baja dan teknik beton-tulang mulai dipergunakan.
Menara Eiffel 1889:
Hennebique: kerangka-beton bertulang tahun 1892.



Gambar 3-6. Zeughaus, Danzig (kira-kira th. 1600), renaissance



Gambar 3-7. Hotel des Invalides, Paris (kira-kira th. 1672); barok



Gambar 3-8. Pantheon, Paris (kira-kira th. 1775); klasik, neo-gotik, neo-barok

Gambar 3-9. Arc de Triomph (=Lengkung kemenangan) (kira-kira tahun 1805)

II. Beberapa sifat mekanis dan sifat alamiah dari bahan-bangunan

Proyek Pembinaan Perpustakaan
Jawa Timur
T. A. 1992 / 1993

Ikhtisar-simbol:

a	— jarak, umpamanya jarak-gordeng
b	— ukuran-lebar
c	— tetapan jenis-tanah, modulus-kompresi
d	— garistengah, ukuran-tebal, ukuran-melintang
$e.g.$	— bobot-sendiri (b.s.)
h	— ukuran tinggi
i	— jari-jari kelambanan
l	— ukuran-panjang
$\triangle l$	— perubahan ukuran-panjang
l_k	— ukuran-panjang
q	— beban tiap satuan ukuran-panjang
t	— suhu
$\triangle t$	— perubahan-suhu
A	— luas
E	— modulus-elastisitas (= kenyal)
F	— gaya atau beban
$\bar{F}$	— gaya atau beban yang diizinkan
F_B	— beban-patah
F_Q	— seluruh beban, gaya-letak
F_R	— reaksi-letak
I	— momen-lamban
Z	— pengendapan
α	— kofisen-muai lurus, sudut
γ	— bobot-voluma
λ	— kelangsingan
ν	— kofisen-aman
ρ	— kerapatan tiap satuan-voluma (massa-jenis)
σ	— tegangan
$\bar{\sigma}$	— tegangan yang diizinkan
σ_b	— tegangan-lengkung
σ_d	— tegangan-tekan
σ_g	— tegangan-dasar
σ_i	— tegangan-ideal
σ_k	— tegangan-tekuk (juga σ_K)
σ_{butir}	— tegangan-butir
σ_n	— tegangan-dasar baru
σ_o	— tegangan-dasar semula

σ_s — hambatan-sondasi (tegangan yang diukur pada kerucut)
σ_t — tegangan-tarik
σ_w — tegangan-air
σ_k — tegangan-tekuk (juga σ_k)
σ_z — tegangan-geser

Indeks yang banyak dipergunakan

B — patah
gem — rata-rata
h — Horisontal
li — kiri
max — maksimal, maksimum
min — minimal, minimum
re — kanan
v — vertikal
// — sejajar (kepada arah serat)
⊥ — tegaklurus (kepada arah serat)

4. GAYA, MASSA DAN BOBOT

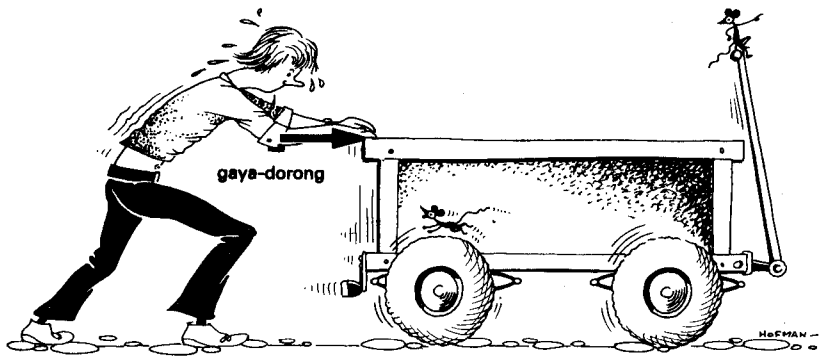
4.1. Gaya

4.1.1. *Gaya dan gerak*

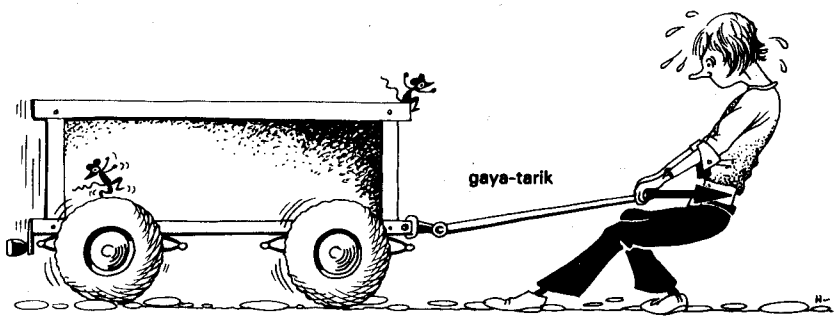
Gaya telah disebutkan beberapa kali dalam bab sebelum ini. Yang telah disebutkan ialah gaya ***vertikal*** dan gaya ***horizontal.*** Juga dalam kehidupan sehari-hari kita mengenal pengertian tentang gaya. Kita mengenal ***gaya-otot, gaya-berat, gaya pegas*** dan sebagainya.

Sebagai contoh pelaksanaan gaya, mula-mula diambil sebuah gerobak yang berdiri di tempat di mana bahan-bangunan akan dibongkar. Gerobak itu dipindahkan tempatnya. Gerobak itu dapat didorong; dalam hal ini digunakan ***gaya-tekan*** (gambar 4-1). Akan tetapi gerobak tersebut dapat juga ditarik; jadi terhadap gerobak dilakukan ***gaya-tarik*** (gambar 4-2). Dalam ilmu-gaya dikatakan tentang gaya yang dipindahkan dalam "garis-kerjanya" (atau dalam arah-kerjanya). Pada ukuran-besar yang tetap, efek dari gaya yang dipindahkan dalam garis-kerjanya ***sama besar.***

Dengan contoh ini diperlihatkan bahwa oleh suatu gaya, dalam hal ini gaya-otot yang dilaksanakan secara horisontal, suatu benda dapat dirubah dari keadaan ***diam*** ke keadaan ***bergerak.***

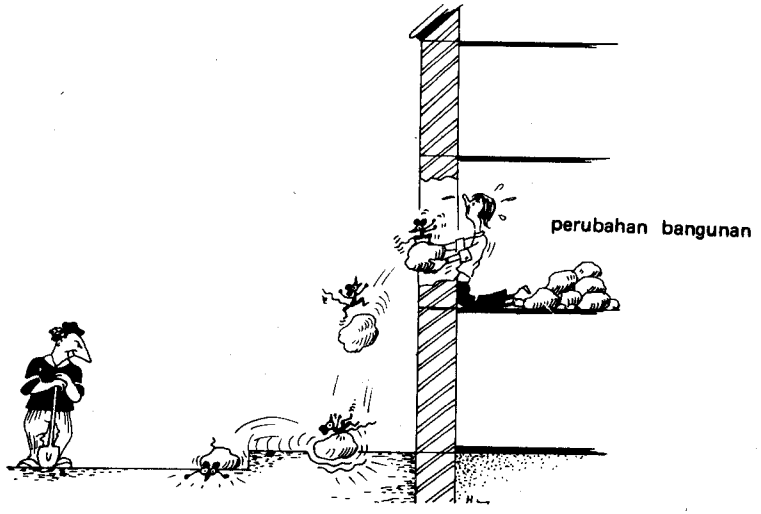


Gambar 4-1. Gerobak didorong



Gambar 4-2. Gerobak ditarik

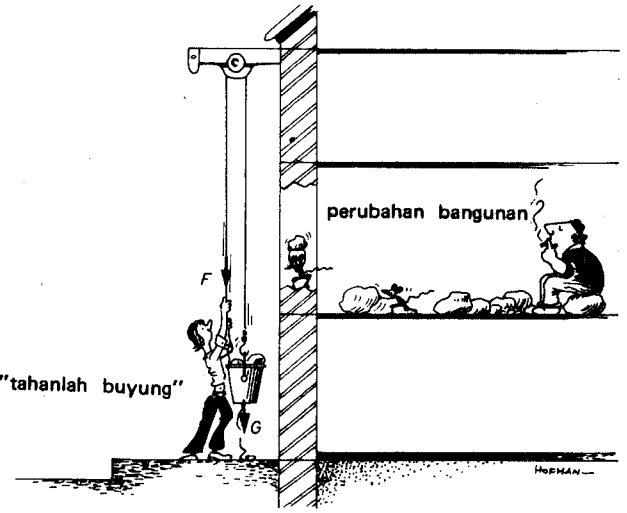
Suatu contoh yang lain. Diumpamakan, bahwa seorang pemborong mendapat tugas untuk merubah bangunan tingkat dari suatu rumah-parit (= grachtenhuis) di Amsterdam. Puing-bongkaran harus dikeluarkan. Puing itu dapat dicurahkan ke jalan melalui jendela. Puing tersebut akan jatuh dengan keras sekali ke bawah, sebagai akibat dari gaya-berat (gambar 4-3). Sistim-kerja ini berbahaya untuk lingkungan.



Gambar 4-3.

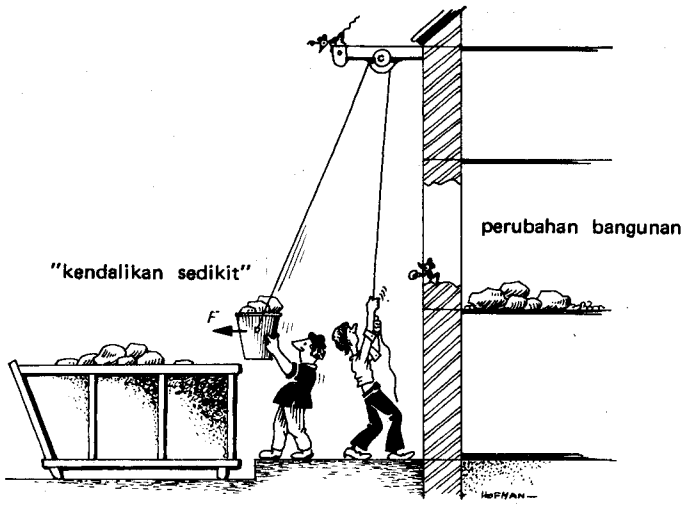
Suatu sistim yang lebih baik ialah, memuat puing ke dalam sebuah bak (ember atau keranjang). Bak ini dapat diturunkan dengan tali-kerekan, melalui sebuah katrol. Gaya yang dilakukan secara *terus-menerus* terhadap suatu benda yang bergerak, akan *mempercepat* jalannya benda itu. Oleh karena hal ini juga akan terjadi dengan bak, maka pengaruh dari gaya-berat harus dilawan dengan suatu gaya yang lain (gambar 4-4).

Untuk dapat meletakkan bak dengan tenang di atas lantai (= tanah), gerakan bak dapat dihentikan sebentar tepat di atas permukaan tanah. Dengan contoh ini diperlihatkan, bahwa oleh suatu gaya, dalam hal ini suatu gaya *vertikal,* kecepatan dari sesuatu benda yang bergerak dapat *dirubah.* Malahan terdapat kemungkinan untuk menahan benda yang sedang bergerak sampai *berhenti* (= diam), dengan menggunakan gaya.



Gambar 4-4.

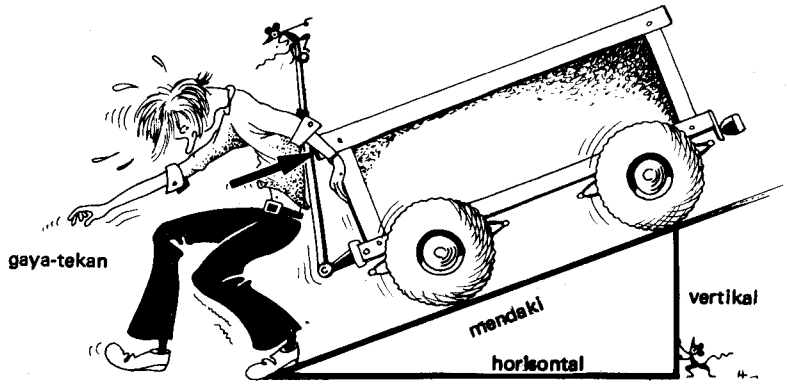
Sebagai ganti dari penumpukan puing di atas trotoar, puing itu dapat pula dituangkan secara langsung ke dalam sebuah bak yang berdiri di pinggir jalan. Bak yang sedang turun, harus dikendalikan sedemikian rupa, supaya tiba dengan tepat di atas bak yang di pinggir jalan. Hal ini dapat dilakukan dengan jalan menekan bak (keranjang, ember) itu (gambar 4-5). Jadi dengan menggunakan suatu gaya, kita dapat merubah *arah* dari benda yang sedang bergerak.



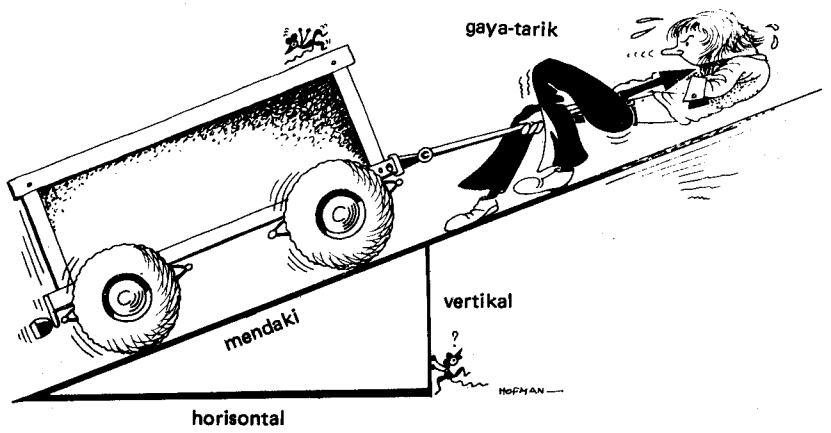
Gambar 4-5.

Sebelum ini, kita bekerja dengan gaya *horizontal* dan gaya *vertikal.* Akan tetapi di samping itu ada pula terdapat gaya yang *mengarah miring.* Jikalau sebuah gerobak dengan bahan-bangunan harus didorong ke atas suatu pendakian-jembatan, maka kita harus menggunakan gaya-tekan yang miring (gambar 4-6).

Selain daripada itu, gerobak dapat juga ditarik ke atas pendakian. Dalam hal ini kita harus menggunakan gaya-tarik yang miring (gambar 4-7).

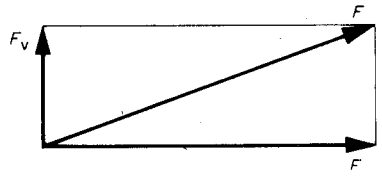


Gambar 4-6.



Gambar 4-7.

Gaya F yang mengarah miring, dapat "digantikan" oleh sebuah gaya horisontal F_h dan sebuah gaya vertikal F_v, yang bekerja bersamaan (gambar 4-8). Yang dimaksud dengan "digantikan" ialah, bahwa efek dari gaya horisontal dan gaya vertikal sama dengan efek gaya miring. Gaya-horisontal, gaya-vertikal dan gaya-miring itu terletak dalam suatu segi-panjang. Gaya-horisontal dan gaya-vertikal merupakan sisi siku-siku, sedangkan gaya-miring merupakan diagonal.

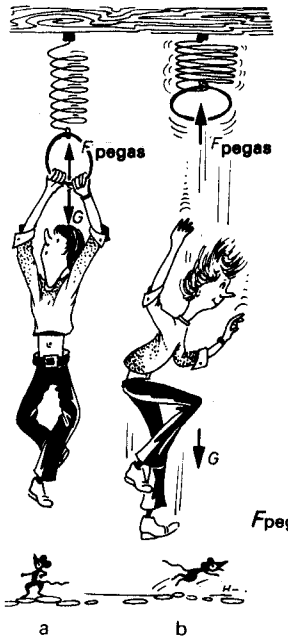


Gambar 4-8.

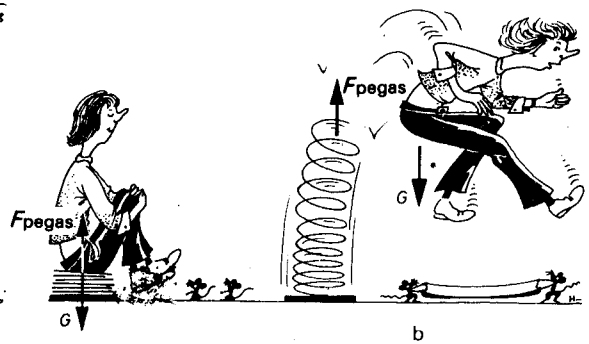
4.1.2. *Keseimbangan gaya.*

Jikalau sebuah pegas baja yang kuat dipasang pada suatu balok dan kita bergantungan kepada pegas itu, maka pegas tersebut akan teregang (gambar 4-9). Regangan itu terjadi karena bobot orang yang bergantung kepada pegas. Oleh bobot terjadi sesuatu gaya-tarik. Bila pegas itu telah teregang sampai ukuran-panjang tertentu, maka terjadi suatu keadaan "diam". Kelihatannya seperti tak terjadi sesuatu apapun. Akan tetapi sesungguhnya ada sesuatu yang terjadi. Dalam pegas timbul gaya-tarik yang *sama besarnya* dan *berlawanan arah* dengan bobot pada pegas.

Bahwa gaya-tarik itu benar ada terdapat dalam pegas, akan ternyata apabila pegas itu dilepaskan. Dengan demikian pegas kembali mengambil posisinya yang semula (gambar 4-9b).



Gambar 4-9.



Gambar 4-10.

Bila sebuah pegas baja yang kuat dipasang pada lantai dan kemudian pegas itu diduduki, maka pegas akan tertekan (gambar 4-10a). Penekanan itu disebabkan oleh bobot orang yang duduk di atas pegas. Jadi terhadap pegas dilakukan gaya-tekan.

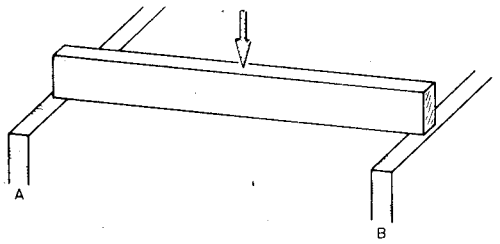
Orang yang duduk serta pegas, berada dalam keadaan diam. Di sini terdapat lagi keseimbangan gaya, yaitu antara bobot orang dan dengan gaya-tekan yang sama besar yang dibangkitkan berlawanan arah dalam pegas.

Bahwa benar dalam pegas terdapat gaya-tekan, apabila orang itu berdiri. Pegas akan mengambil kembali kedudukannya yang semula (gambar 4-10b).

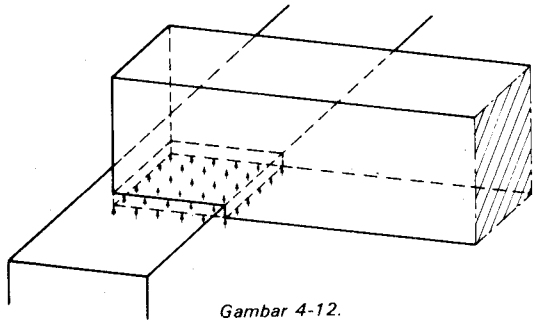
Jikalau sekarang diambil suatu balok di atas dua titik-tumpuan, maka pada kedua titik-tumpuan terdapat gejala yang sama dengan gejala pada pegas. Pada gambar 4-11, dilukiskan sebuah balok yang ujung-ujungnya diletakkan di atas dinding. Pada bagian tengah di atas balok diletakkan beban (ditunjukkan dengan panah). Sebagai akibat dari beban itu, balok menekan pada dinding A dan B.

Sebagai akibat dari elastisitas bahan, bidang-letak itu seolah-olah sedikit tertekan ke dalam (gambar 4-12). Sama halnya dengan pada pegas, bahan menekan kembali kepada balok.

Bila dalam keadaan *seimbang*, maka gaya dari balok kepada dinding sama besar dengan gaya dari dinding kepada balok.



Gambar 4-11.



Gambar 4-12.

Gaya-lawan yang timbul karena adanya suatu gaya, dinamakan *reaksi.* Gaya yang menyebabkan adanya reaksi itu dinamakan *aksi.*

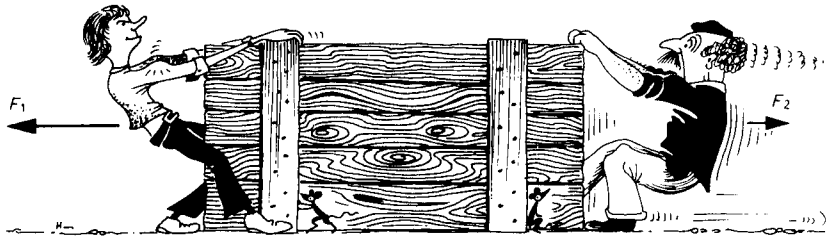
Ingatlah, bahwa reaksi itu adalah selalu akibat dari suatu gaya luar. Dengan demikian berlaku ketentuan:

aksi = — reaksi

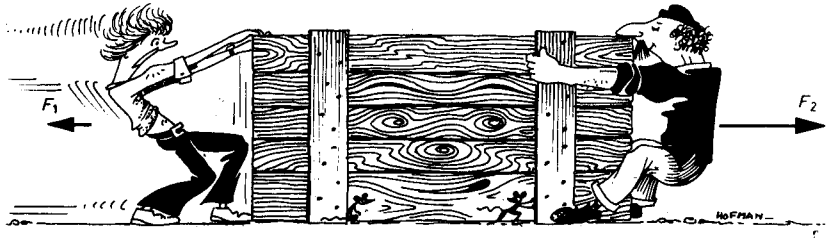
Tanda =, menunjukkan kesamaan gaya; tanda —, menunjukkan arah yang berlawanan.

Jikalau terhadap suatu benda dikerjakan dua gaya yang mempunyai titik-tangkap yang sama, akan tetapi berlawanan arah maka akan terdapat tiga kemungkinan.

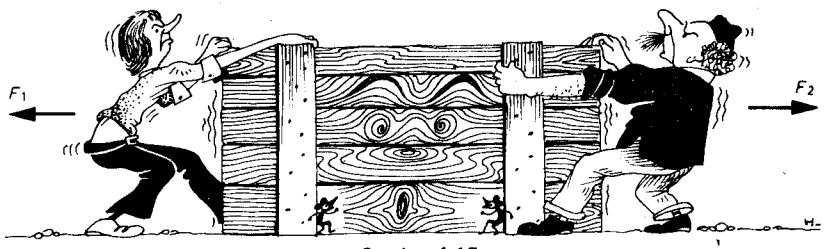
1. $F_1 > F_2$ (> berarti lebih besar dari). Benda akan bergerak ke jurusan F_1 (gambar 4-13)
2. $F_1 < F_2$ (< berarti lebih kecil dari). Benda akan bergerak ke jurusan F_2 (gambar 4-14)
3. $F_1 = F_2$. Benda berada dalam keadaan diam (gambar 4-15)



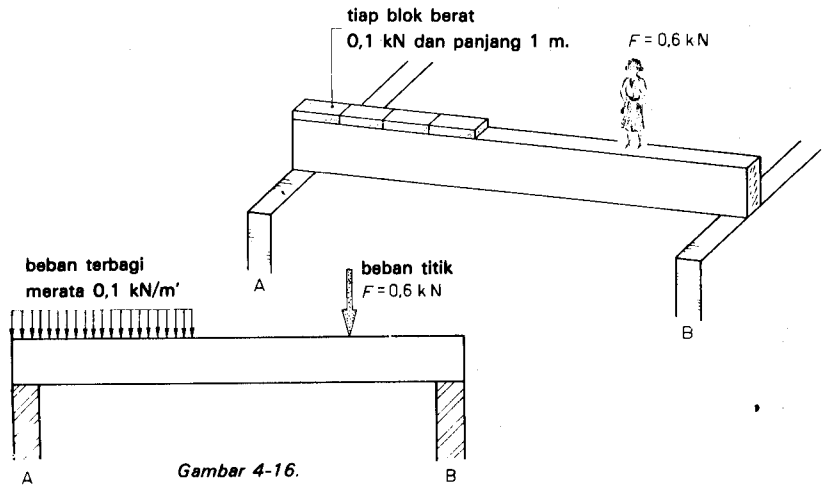
Gambar 4-13.



Gambar 4-14.



Gambar 4-15.



Gambar 4-16.

Jadi suatu benda berada dalam keadaan seimbang, bila semua jumlah gaya yang bekerja pada benda itu sama dengan nol. Gaya-gaya itu saling mengatasi satu sama lain.

Keadaan-*diam,* adalah salah satu keadaan seimbang yang dikenal dari suatu benda. Keadaan seimbang yang lain ialah dengan *kecepatan-konstan* (= tetap). Juga dalam hal ini, jumlah dari semua gaya yang bekerja pada benda itu sama dengan nol.

4.1.3 *Beban dan tegangan.*

Dalam ilmu-konstruksi kerap kali digunakan kata *beban* sebagai pengganti kata *gaya.*

Yang dimaksud dengan beban, biasanya ialah (gambar 4-16):

1. suatu beban-titik;
2. suatu gaya pada tiap satuan-ukuran panjang

Jikalau suatu beban dibagi oleh luas di mana beban itu bekerja, maka kita menyebutkannya *tekanan* atau *tegangan.* Adapun tekanan atau tegangan itu adalah, gaya yang bekerja pada tiap satuan-luas (gambar 4-17). Dengan demikian, umpamanya dapat dikatakan tentang *tekanan* zat-cair, *tekanan-gas* atau *tegangan*-gas; *tegangan*-bahan.

4.2. Massa dan bobot.

Sebuah batu yang jatuh, bergerak ke jurusan titik-pusat bumi. Pada batu ini bekerja suatu gaya, yaitu gaya-berat. Gaya ini yang mengatur, bahwa batu bergerak dari keadaan diam. Selanjutnya gaya itu mengatur, bahwa gerakan tersebut selalu berubah. Batu akan jatuh bertambah cepat. Gaya itu memberi percepatan kepada batu.

Percepatan ini kira-kira sama dengan 10 m/detik². Percepatan ini berlangsung terus sampai batu mencapai bumi. Kemudian bumi memberikan gaya-perlawanan yang sama besar dengan bobot batu. Dalam hal itu berlaku lagi:

aksi = — reaksi

Tiap massa mengalami suatu gaya (= bobot) oleh medan gaya-berat. Untuk gaya-bobot itu, yang disingkat dengan bobot, dapat ditulis rumus sebagai berikut:

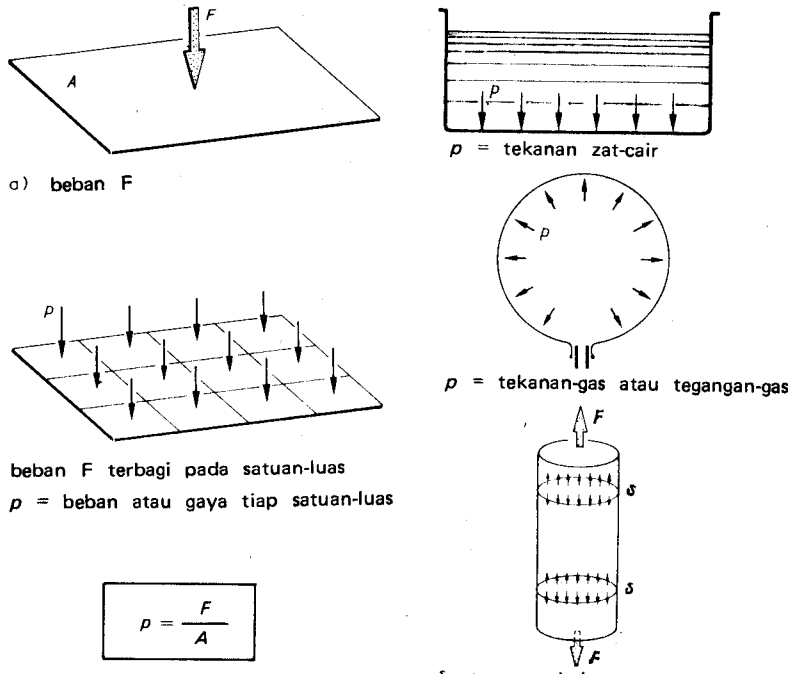
$$G = m.g$$

Di sini:
G = *bobot (suatu gaya);*
m = massa
g = percepatan dari gaya-berat
Rumus ini adalah bentuk khusus dari hukum umum:

$$F = m \cdot a$$

(gaya F = massa m kali percepatan a).

Percepatan dari gaya-berat, berbeda untuk tiap tempat di bumi:
Amsterdam: g = 9,813 m/det²;
di kutub: g = 9,832m/det².
Biasanya dihitung percepatan-dasar g = 9,80655 m/det², sebagai nilai percepatan rata-rata untuk tiap tempat di bumi. Dalam ilmu-konstruksi, dapat diambil g = 10 m/det²

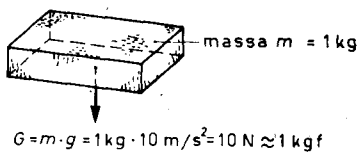


$$p = \frac{F}{A}$$

Gambar 4-17.

Dalam sistim Satuan Internasional (SI), kilogram diterima sebagai satuan massa. Sebuah batu (gambar 4-18) dengan massa dari 1 kg, ditarik oleh percepatan gaya-berat g = 10 m/det², jadi mempunyai bobot G = 1 kg. 10 m/det² = 10 kg. m/det².
1 kg. m/det² dalam SI dinamakan newton (N).
Jadi:
G = 10 newton (10 N) (1)

Dalam apa yang dinamakan sistim satuan Teknik, diterima sebagai satuan-bobot, gaya dari bumi yang menarik suatu masa dari 1 kilogram.



Gambar 4-18.

Dari:
$G = m.g$
jadi ternyata:
1 kgf = 1kg. g

Publikasi dalam sistim-satuan teknik dengan rumus-hitungan ini dengan mudah dapat "diterjemahkan" ke dalam Sistim Satuan Internasional (SI).
Oleh karena g itu sesungguhnya tidak tetap, maka dengan demikian 1 kgf juga tidak konstan.

Dalam suatu sistim-satuan, keadaan seperti ini pada dasarnya tidak dapat diterima (semua satuan yang dipilih seperti meter, kilogram, detik adalah tetap. Juga newton adalah suatu tetapan dan karena itu dapat diterima). Dalam praktek kita masih banyak bekerja dengan kgf, karena dapat diumpamakan tetap, jika g = 9,80655 m/det^2 dan dalam pelaksanaan dibulatkan menjadi 10 m/det^2.

Batu dengan massa 1 kg dengan demikian mempunyai bobot 1 kgf menurut:
1 kgf = 1 kg. g $\approx$ 1 kg. 10 m/det^2 = 10 kg. m/det^2 (2)
Dari (1) dan (2) ternyata bahwa:

1 kgf $\approx$ 10 N

Publikasi dalam sistim-satuan teknik dengan rumus-hitungan ini dengan mudah dapat "diterjemahkan" ke dalam Sistim Satuan Internasional (S.I).

5. PENGERTIAN UMUM DARI ILMU - KEKUATAN

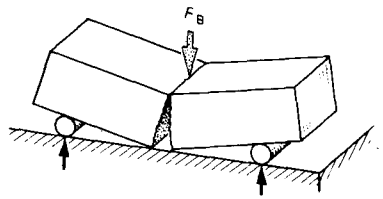
5.1. Kekuatan dan tegangan yang diizinkan.

Suatu sifat-bahan konstruktif yang sangat penting, adalah *kekuatan.* Yang dimaksud dengan kekuatan ialah tegangan, di mana bahan berada pada saat akan luluh (= bezwijken). Tegangan ini sering juga yang dinamakan *tegangan-patah.*

Tiap bahan hanya boleh dibebani sampai suatu *tegangan* tertentu *yang diizinkan.* Tegangan yang diizinkan ini, hanya sebagian dari tegangan-patah. Kita selalu harus memperhatikan suatu faktor keamanan, sehubungan dengan:
- pendekatan dalam teori perhitungan;
- keadaan yang tidak merata dalam bahan;
- keadaan yang kurang sempurna dalam pelaksanaan;
- pembebanan yang tidak diduga sebelumnya.

Jadi *beban-patah* F_B adalah lebih besar daripada beban yang diizinkan F (gambar 5-1).

Pengertian yang diizinkan itu, ditunjukkan oleh suatu baris kecil horisontal yang ditempatkan di atas simbol.



Gambar 5-1.

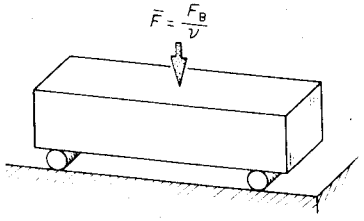
Beban yang diizinkan itu, didapatkan dengan jalan membagi beban-patah oleh suatu bilangan yang lebih besar dari 1. Bilangan ini yang dinamakan *kofisen-keamanan.* Kofisen-keamanan itu ditunjukkan dengan huruf Yunani υ . Dalam rumus menjadi (gambar 5-2):

$$\bar{F} = \frac{F_B}{\upsilon}$$

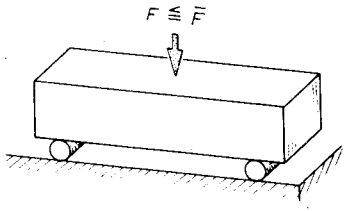
Kita harus menjaga supaya *beban yang bekerja* selalu lebih kecil daripada *beban yang diizinkan.* Paling tinggi, beban yang bekerja itu sama besar dengan beban yang diizinkan. Dalam rumus menjadi (gambar 5-3):

$$F \leqq \bar{F}$$

(diucapkan: *F* lebih kecil dari atau sama besar dengan $\bar{F}$ yang diizinkan).



Gambar 5-2.



Gambar 5-3.

Marilah kita tinjau sekarang apa yang terjadi di dalam bahan. Jadi di sini, *tegangan yang dibangkitkan* harus lebih kecil daripada *tegangan yang diizinkan.* Paling tinggi, tegangan yang dibangkitkan itu boleh sama besar dengan tegangan yang diizinkan. Tegangan-bahan pada umumnya dinyatakan dengan σ (huruf Yunani "sigma"). Jadi tegangan yang diizinkan ditulis sebagai $\bar{\sigma}$. Jadi dalam bahan harus berlaku:

$$\sigma \leqq \bar{\sigma}$$

Tegangan yang diizinkan, jauh lebih kecil daripada tegangan-patah. Jadi sebagaimana telah dikatakan, tegangan yang diizinkan itu hanya sebagian daripada tegangan-patah (σ_B).
Dengan demikian dapat ditulis lagi:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_B}{\upsilon}$$

Tegangan yang diizinkan itu, juga menentukan ukuran-ukuran dari sesuatu konstruksi. Selain daripada tegangan yang diizinkan atau beban yang diizinkan, ukuran dari suatu konstruksi juga ditentukan oleh faktor-faktor lain, seperti *kekakuan* dan *stabilitas.*

CONTOH 1.
Diketahui: Beban-patah F_B dari sebuah balok sama dengan 3000 N. Kofisen-keamanan $\upsilon = 5$.

Ditanyakan:

a. Tentukanlah beban yang diizinkan F dari balok
b. Apakah beban yang bekerja boleh 1500 N?
Jawab:

a. $\bar{F} = \frac{F_a}{\upsilon}$

$\bar{F} = \frac{3000\ N}{5}$

$\bar{F} = 600\ N$

b. $F \leqq \bar{F}$

$F \leqq 600\ N$

Jadi *F* sebesar 1500 N tidak boleh bekerja.

CONTOH 2.
Diketahui: Tegangan-patah σ_B dalam sebuah balok adalah 10 N/mm². Kofisen-keamanan υ sama dengan 5.
Ditanyakan:
a. Tentukanlah tegangan yang diizinkan σ_B dalam balok,
b. Apakah tegangan yang bekerja boleh 1,75 N/mm²?
Jawaban:

a. $\bar{\sigma} = \frac{\sigma_B}{\upsilon}$

$\bar{\sigma} = \frac{10\ N/mm^2}{5}$

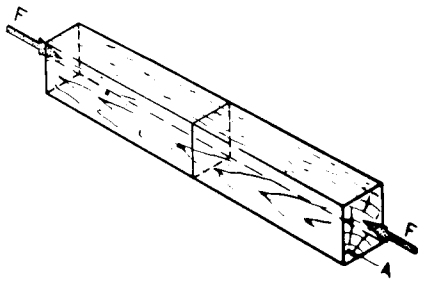
$\sigma = 2\ N/mm^2$

b. $\sigma \leqq \bar{\sigma}$

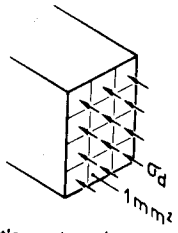
$\sigma = 2\ N/mm^2$

Jadi σ dari 1,75 N/mm² boleh bekerja.

TUGAS 1.
Beban-patah dari sebuah balok adalah 5000 N. Kofisen-keamanan sama dengan 4.
Beban yang diizinkan sama dengan $\frac{\cdots}{\cdots} = \cdots$



Gambar 5-4.



tiap satuan-luas ump. 1 mm², memindahkan suatu "gaya kecil" σ_d

Gambar 5-5.

TUGAS 2.

Tegangan-patah dalam balok adalah 14 N/mm²
Tegangan yang diizinkan sama dengan 3,5 .
Kofisen-keamanan sama dengan $\frac{\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{\cdot\cdot\cdot\cdot} = \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot$

5.2. Jenis tegangan.

Contoh tegangan yang terdapat adalah:

- tegangan-tekan;
- tegangan-tarik;
- tegangan-geser;
- tegangan-lengkung;
- tegangan-tekuk.

5.2.1. *Tegangan-tekan.*

Jikalau balok dari gambar 5-4 ditekan oleh suatu gaya *F* (dalam sumbu-balok), maka tegangan-tekan dalam tiap bidang kecil balok, tegaklurus pada sumbu-balok adalah:

$$\sigma_d = \frac{F}{A}$$

Di sini:
F = gaya-tekan;
A = luas penampang-balok;
σ_d = tegangan-tekan.

Selanjutnya selalu akan dibahas benda yang berada dalam keadaan diam. Dalam gambar 5-4, kedua gaya sama besar dan bekerja berlawanan. Bandingkan gambar 5-4 dengan gambar 4-15.

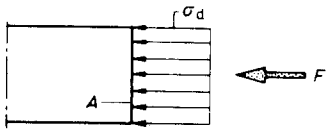


diagram-tegangan sebagai akibat dari F

Gambar 5-6.

Lihat juga gambar 5-5 dan 5-6

Tegangan-tekan di mana masih belum terjadi patahan, dinamakan kekuatan-tekan $\overline{\sigma}_{dB}$

Kekuatan-tekan dibagi oleh faktor-keamanan, menghasilkan tegangan-tekan yang diizinkan $\overline{\sigma}_d$.

CONTOH.

Diketahui: Pada sebuah balok bekerja suatu gaya-tekan sebesar 63 kN = 63000 N. Balok mempunyai penampang (= lintang) A sebesar 9000 mm².
Ditanyakan: tegangan-tekan σ_d
Jawaban:

$$\sigma_d = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_d = \frac{63000\ N}{9000\ mm^2} = 7\ N/mm^2$$

TUGAS 3

Penampang *A* dari sebuah balok adalah 8000 mm².
Tegangan-tekan $\sigma_d = 7{,}5\ N/mm^2$
Gaya-tekan:
$F = A \times \sigma_d = \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot \times \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot = \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot$

Perhatikan

Kesalahan yang sering kali diperbuat ialah mengira, bahwa bidang-bidang kecil balok dibebani oleh dua buah gaya *F*. Dengan demikian diperhitungkan $\sigma = \frac{2F}{A}$, sedang seharusnya $\sigma = \frac{F}{A}$

Pikirkanlah, bahwa balok itu digergaji di tempat di mana tegangan harus dihitung. Dengan demikian kita memperoleh dua potongan balok, yang harus seimbang dalam keadaan diam (gambar 5-7).
Untuk bagian sebelah kiri berlaku:

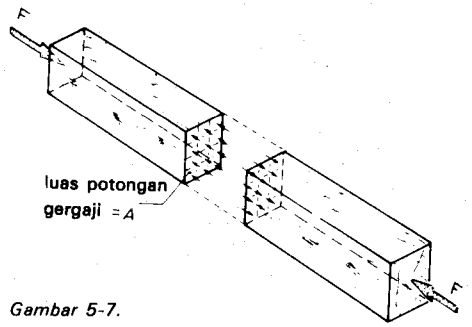
$$F = A \cdot \sigma_d$$

Tinjaulah sekarang bagian sebelah kanan dan di sini juga berlaku:

$$F = A \cdot \sigma_d$$

Lekatkan kembali potongan balok itu, maka masih tetap berlaku

$$F = A \cdot \sigma_d$$



Gambar 5-7.

5.2.2. *Tegangan-tarik*

Jikalau gaya F yang telah dibahas sebelum ini berubah arah 180° (gambar 5-8), maka disebutkan terjadi gaya-tarik. Oleh gaya-tarik itu, terjadi *tegangan-tarik* (gambar 5-9).

Sebagai rumus terdapat sekarang:

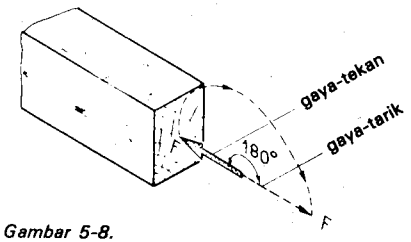
$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

Di sini:

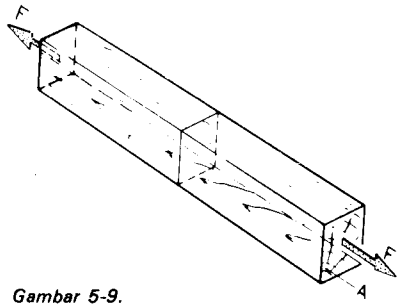
F = gaya-tarik;

A = luas penampang-balok;

σ_t = tegangan-tarik



Gambar 5-8.

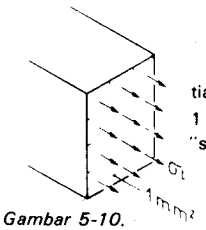


Gambar 5-9.

Lihat juga gambar 5-10 dan 5-11

Tegangan-tarik pada saat belum terjadi patah, dinamakan kekuatan-tarik σ_{tB}

Kekuatan-tarik dibagi oleh faktor-keamanan, menghasilkan tegangan-tarik yang diizinkan $\bar{\sigma}_t$.



tiap satuan-luas, umpamanya 1 mm² memindahkan "suatu gaya kecil" σ_t.

Gambar 5-10.

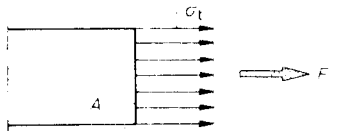


diagram-tegangan sebagai akibat dari F

Gambar 5-11.

CONTOH

Diketahui: Pada sebuah balok bekerja gaya-tarik sebesar 72 kN = 72000 N. Balok itu mempunyai penampang (— lintang) dari 8000 mm².

Ditanyakan: tegangan-tarik σ_t

Jawaban:

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_t = \frac{72000\ N}{8000\ mm^2} = 9\ N/mm^2$$

TUGAS 4

Penampang balok adalah 9000 mm².

Tegangan-tarik $\sigma_t = 10\ N/mm^2$

Gaya-tarik $F = A \times \sigma_t = \ldots . \times \ldots . = \ldots .$

5.2.3. *Tegangan-geser.*

Jikalau gaya F bekerja pada bidang CDGF, bagian blok bahan sebelah atas ingin bergeser sepanjang bidang BCDE (gambar 5-12). Dengan demikian, dalam bidang ini terjadi tegangan-geser rata-rata:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

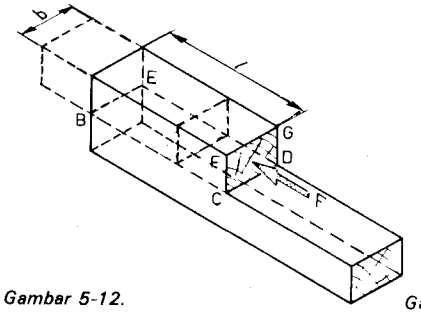
Di sini:

F = gaya-geser;

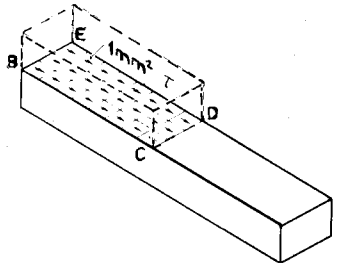
A = luas-bidang yang bergeser (= l .b);

τ = tegangan-geser rata-rata (τ adalah huruf Yunani "tou")

Lihat juga gambar 5-13



Gambar 5-12.



Gambar 5-13.

Tegangan-geser pada saat akan menyebabkan patah, dinamakan kekuatan-geser τ_B. Kekuatan-geser dibagi oleh faktor-keamanan, menghasilkan tegangan-geser yang diizinkan $\bar{\tau}$

CONTOH.

Diketahui: Pada sebuah balok bekerja gaya-geser sebesar 20 kN = 20000 N. Luas yang "bergeser" A adalah 25.000 mm².

Ditanyakan: tegangan-geser rata-rata τ

Jawaban:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{20000\ N}{25.000\ mm^2} = 0{,}8\ N/mm^2$$

TUGAS 5.

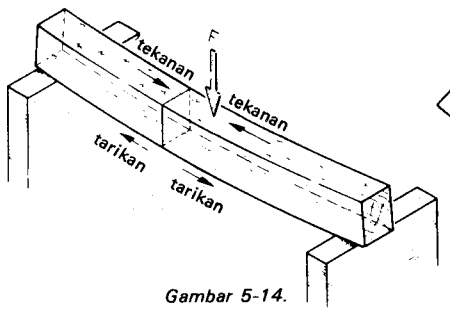
Luas bidang yang bergeser dari sebuah balok, adalah 15000 mm². Tegangan-geser rata-rata τ = 1,2 N/mm².

Gaya-geser $F = A \times \tau$ = ... x .... = ...

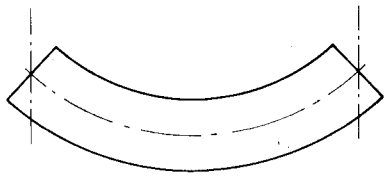
5.2.4. *Tegangan-lengkung.*

Jikalau suatu balok dibebani seperti pada gambar 5-14, maka balok itu akan melengkung. Dalam hal ini dikatakan, bahwa dalam balok terjadi tegangan-lengkung.

Pada *bagian-atas* balok terjadi *tegangan-tekan.* Pada *bagian-bawah* balok terjadi *tegangan-tarik.* Oleh karena pelengkung itu hampir tidak terlihat, jadi sulit untuk digambarkan apa yang sesungguhnya terjadi dalam balok, maka pelengkungan dari balok itu di sini digambarkan agak berlebihan (gambar 5-15).



Gambar 5-14.



Gambar 5-15.

Di sini diumpamakan bahwa setelah pelengkungan, semua penampang masih tetap tinggal tegaklurus pada sumbu-balok. Jadi terlihat, bahwa balok menjadi lebih pendek pada bagian-atas dan menjadi lebih panjang pada bagian bawah.

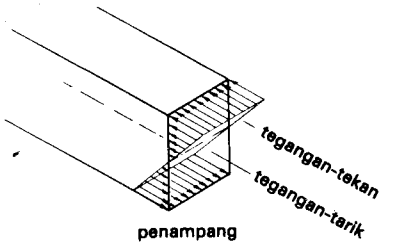
Suatu benda menjadi lebih pendek, yaitu mengkerut, bila dilakukan tekanan kepada benda (ingatlah kepada bunga-karang). Jadi pada bagian-atas terjadi tekanan.

Suatu benda menjadi lebih panjang, yaitu meregang, bila dilakukan tarikan kepada benda (ingatlah karet-elastik). Jadi pada bagian-bawah terjadi tarikan.

Pada bagian-tengah, dalam sumbu, balok itu tetap sama panjang. Pada bagian ini tidak terjadi tekanan dan tarikan. Daerah ini dinamakan *lapisan-netral.*

Suatu benda menjadi jauh lebih pendek, jadi banyak tertekan ke dalam, bila tekanan itu besar. Pada bagian-luar (di atas) balok itu adalah yang paling pendek. Jadi di sini tegangan-tekan dalam balok paling tinggi. Suatu benda jauh lebih panjang, jadi meregang paling banyak, bila tarikan besar. Pada bagian-luar (di bawah) balok itu adalah yang paling panjang. Di sini tegangan-tarik dalam balok adalah paling tinggi. Dalam sumbu-balok, jadi dalam lapisan netral, tidak terjadi tegangan-tekan dan tidak pula tegangan-tarik.

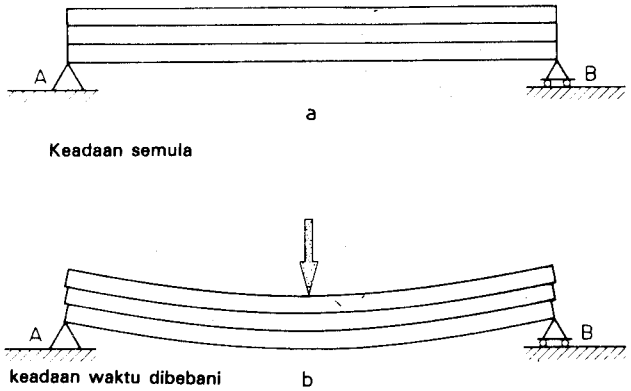
Bila diumpamakan, bahwa tegangan yang terjadi dalam balok berbanding lurus dengan perubahan ukuran-panjangnya, maka diperoleh pembagian-tegangan seperti pada gambar 5-16. Pembagian ini dinamakan pembagian-tegangan yang berlangsung menurut sebuah segitiga.



Gambar 5-16.

Selain daripada tegangan-tekan dan tegangan-tarik, dalam hal ini juga terjadi tegangan-geser. Bila diumpamakan sebuah balok terdiri dari susunan papan-papan yang tersendiri, maka waktu melengkung, papan-papan itu akan bergeser terhadap satu sama lain (gambar 5-17a dan gambar 5-17b).

Jadi dalam hal pelengkungan, kita berhubungan dengan tegangan yang telah dibahas dalam 5.2.1., 5.2.2 dan 5.2.3. yang bekerja secara bersamaan. Jadi suatu tegangan-lengkung itu bukanlah suatu "hal baru" terhadap tegangan-tegangan yang telah dibahas, melainkan hanya kombinasi dari semua tegangan itu.



Gambar 5-17.

5.2.5. *Tegangan-tekuk.*

Pada gambar 5-18 dilukiskan dua buah kolom. Penampang dari kedua kolom itu sama besar. Kedua konstruksi kelihatannya sama kuat. Dalam kedua kolom bekerja tegangan-tekan yang sama besar:

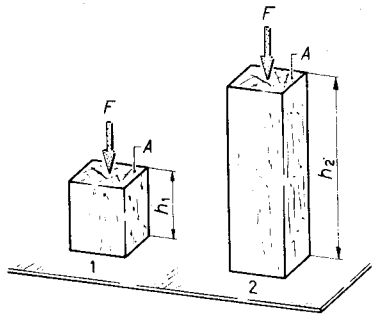
$$\sigma_d = \frac{F}{A}$$

Ketika gaya F diperbesar, dapat terjadi suatu gejala yang sangat ganjil, yaitu apa yang dinamakan "tekukan" kolom (gambar 5-19). Kolom 2 ternyata luluh lebih cepat daripada kolom 1. Bila kolom 2 patah oleh F', maka kolom 1 baru akan patah umpamanya oleh 5 F'.

Tegangan-tekan yang diizinkan, tergantung dari ukuran-tinggi kolom terhadap ukuran-tebal kolom.

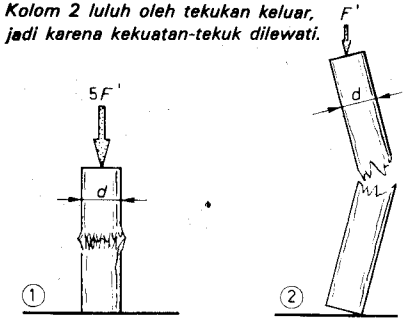
Kolom 2 lebih langsing daripada kolom 1. Tegangan pada saat akan terjadi tekukan, dinamakan kekuatan-tekuk σ_{kB}

Kekuatan-tekuk dibagi oleh faktor-keamanan menghasilkan tegangan-tekuk $\bar{\sigma}_k$.



Gambar 5-18.

Kolom 1 luluh karena kekuatan-tekan dilewati.
Kolom 2 luluh oleh tekukan keluar, jadi karena kekuatan-tekuk dilewati.



Gambar 5-19.

CONTOH.

Diketahui: Sebuah kolom menekuk pada gaya-tekan sebesar 24 kN = 24000 N. Penampang kolom adalah 8000 mm².

Ditanyakan: tegangan-tekuk σ_k

Jawaban: $\sigma_k = \frac{24000\ \text{N}}{8000\ \text{mm}^2} = 3\ \text{N/mm}^2$

TUGAS 6.

Tegangan-tekuk pada sebuah kolom adalah 5 N/mm²
Luas dari penampang-kolom sama dengan 6000 mm².
Gaya-tekuk $F = A \times \sigma_k = \ldots . \times \ldots . = \ldots .$

5.3. Kekenyalan (Elastisitas).

Perubahan, ditunjukkan dalam ilmu-kekuatan dengan huruf Yunani $\triangle$, yaitu diucapkan sebagai "delta".

Perubahan dari ukuran-panjang l ditulis sebagai $\triangle l$.
Sebuah batang dengan ukuran-panjang l, oleh pengaruh gaya dapat bertambah panjang (pada tarikan) atau bertambah pendek (pada tekanan) sebanyak $\triangle l$ (gambar 5-20 dan 5-21).

Bila suatu gaya bekerja pada sebuah batang, perubahan ukuran-panjangnya akan lebih besar, bila batang itu lebih panjang. Dalam batas tertentu, perubahan ukuran-panjang itu berbanding lurus dengan ukuran panjang batang.

Jikalau ukuran-panjang itu *dua kali* lebih besar, maka perubahan ukuran-panjang juga menjadi *dua kali* lebih besar. Bila ukuran-panjang tersebut *tiga kali* lebih besar, perubahan ukuran-panjang juga menjadi *tiga-kali* lebih besar dan seterusnya. Jadi di bawah pengaruh dari suatu gaya-tarik F, pada ukuran-panjang batang:

- l perpanjangannya menjadi $\triangle l$;
- $2l$ perpanjangannya menjadi $2\triangle l$;
- $10l$ perpanjangannya menjadi $10\triangle l$;
- $n\,l$ perpanjangannya menjadi $n\triangle l$.

Di sini diumpamakan bahwa ukuran-batang yang lain, yaitu penampangnya sama besar pada bahan-permulaan.

TUGAS 7

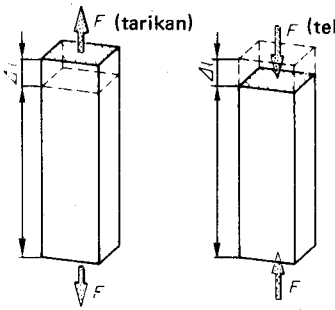
CONTOH 1.

Diketahui: Di bawah pengaruh dari suatu gaya F, sebuah batang dari 1000 mm meregang sebanyak 2 mm.
Ditanyakan: Berapakah besarnya regangan itu, bila ukuran-panjang batang adalah 2000 mm? (lihat juga gambar 5-22).
Jawaban:

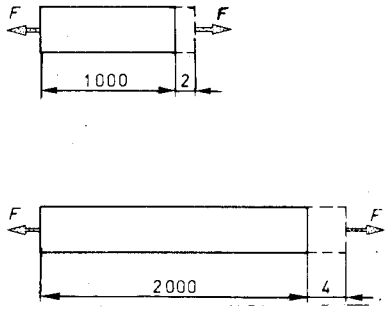
$$\triangle l = \frac{2000}{1000} \times 2 \text{ mm} = 4 \text{ mm}$$

Untuk sebuah batang berlaku, bahwa pada ukuran-panjang 1200 mm, perubahan ukuran-panjangnya sama dengan 2 mm. Jadi pada ukuran panjang batang dari 1800 mm, perubahan ukuran-panjang sama dengan:

$$\triangle l = \frac{\ldots\ldots}{\ldots\ldots} \times \ldots\ldots = \ldots\ldots \text{ mm}$$



Gambar 5-20. Gambar 5-21.



Gambar 5-22.

TUGAS 8

Untuk suatu batang berlaku, bahwa pada ukuran-panjang dari 2000 mm, perubahan-panjangnya sama dengan 5 mm. Jadi pada ukuran-panjang 1600 mm perubahan ukuran-panjang itu sama dengan:

$$\triangle l = \frac{\ldots\ldots}{\ldots\ldots} \times \ldots\ldots = \ldots\ldots \text{ mm}$$

Sekarang kita hubungkan pada gaya F dan ukuran-panjang l juga penampang-batang A.

Bila suatu gaya yang besar bekerja pada sebuah penampang, maka perubahan ukuran-panjangnya akan menjadi lebih besar daripada bila sebuah gaya yang kecil bekerja pada penampang yang sama besar. Jikalau suatu gaya bekerja pada penampang yang besar, maka perubahan ukuran-panjangnya akan lebih kecil daripada bila gaya yang sama bekerja pada sebuah penampang yang kecil.

Dari dua contoh yang terakhir, ternyata bahwa perubahan ukuran-panjang tidak hanya tergantung dari gaya F, melainkan juga dari penampang A. Jadi dengan demikian kita langsung terpikir kepada tegangan $\sigma = \frac{F}{A}$

Jadi perubahan ukuran-panjang itu *lebih besar* bila gaya *lebih besar* dan/atau bila penampang *lebih kecil.* Dengan perkataan lain: suatu perubahan ukuran-panjang lebih besar bila tegangan lebih besar.
Jadi:

Bila tegangan σ kecil, maka perubahan ukuran-panjang $\triangle l$ adalah kecil. Jikalau tegangan σ itu besar, maka perubahan ukuran-panjang $\triangle l$ adalah besar.

Bila pada suatu batang dilakukan tekanan-tarik dan gaya dibiarkan bertambah besar, maka tegangan akan meningkat. Batang tersebut akan menjadi lebih panjang.

Sampai ke tegangan tertentu, yaitu apa yang dinamakan *tegangan-kesebandingan,* perubahan ukuran-panjang $\triangle l$ berbanding lurus dengan tegangan yang bekerja (di sini diabaikan pengurangan penampang oleh perubahan ukuran-panjang).

Jadi tegangan σ menjadi dua kali lebih besar, dengan demikian $\triangle l$ juga menjadi dua kali lebih besar.

Jadi di bawah pengaruh suatu gaya, pada tegangan:

- σ , regangan akan menjadi $\triangle l$;
- 2σ, regangan akan menjadi $2 \triangle l$;
- 10σ, regangan akan menjadi $10 \triangle l$;
- $n\sigma$, regangan akan menjadi $n. \triangle l$.

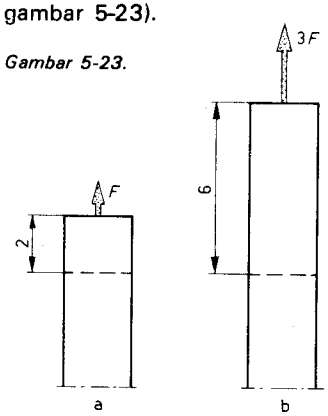
Di atas tegangan-kesebandingan, perubahan ukuran-panjang meningkat lebih banyak daripada peningkatan tegangan. Dalam praktek, tegangan yang diizinkan itu harus selalu lebih kecil daripada tegangan-kesebandingan (evenredigheidsspanning), bila kita tidak menginginkan terjadinya perubahan-bentuk yang tidak diizinkan. Di kemudian hari selalu dianggap, bahwa tegangan-tegangan tersebut selalu *lebih kecil* daripada tegangan-keseimbangan).

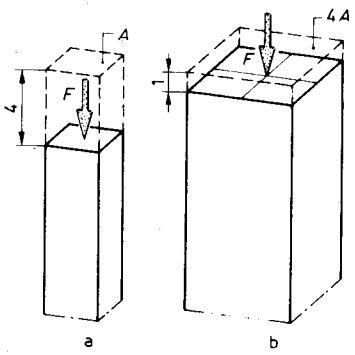
CONTOH 2

Diketahui: Di bawah pengaruh gaya *F* sebuah batang selalu meregang sepanjang $\triangle l = 2$ mm.

Ditanyakan: Berapa besarnya regangan pada suatu gaya sebesar 3 *F*? (lihat gambar 5-23).

Gambar 5-23.





Gambar 5-24.

Jawaban:

Pada *F,* tegangan sama dengan: $\sigma = \frac{F}{A}$

Pada 3 *F,* tegangan sama dengan: $\sigma = \frac{3F}{A}$,

jadi tiga kali lebih besar. Dengan demikian perubahan ukuran-panjang sekarang juga menjadi tiga kali lebih besar. Jadi: $\triangle l = 3 \times 2$ mm $= 6$ mm

CONTOH 3.

Diketahui: Di bawah pengaruh suatu gaya *F* sebuah batang dengan penampang A meregang $\triangle l = 4$ mm.

Ditanyakan: Berapa besarnya regangan oleh gaya yang sama, bila penampang batang menjadi 4 *A*? (lihat juga gambar 5-24)

Jawaban:

Pada suatu gaya *F* dan penampang *A,* tegangan adalah:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Pada suatu gaya *F* dan penampang 4 *A,* tegangan adalah $\sigma = \frac{F}{4A}$,

jadi empat kali lebih kecil. Perubahan ukuran-panjang sekarang juga menjadi empat kali lebih kecil. Jadi:

$$\triangle l = \frac{4 \text{ mm}}{4} = 1 \text{ mm}$$

TUGAS 9

Untuk sebuah batang (kolom) berlaku, bahwa pada suatu gaya sebesar 100 kN, perubahan ukuran-panjang adalah 4 mm.
Jadi pada gaya sebesar 150 kN adalah:

$$\triangle l = \frac{\cdots\cdots}{\cdots\cdots} \times \ldots\ldots = \ldots\ldots \text{ mm}$$

TUGAS 10

Untuk sebuah batang (kolom) berlaku, bahwa pada suatu gaya sebesar 200 kN, perubahan ukuran-panjang adalah 5 mm.
Jadi pada suatu gaya sebesar 60 kN adalah:

$$\triangle l = \frac{\cdots\cdots}{\cdots\cdots} \times \ldots\ldots = \ldots\ldots \text{ mm}$$

TUGAS 11

Untuk sebuah batang (kolom) berlaku, bahwa pada penampang sebesar 8000 mm², perubahan ukuran-panjang adalah 6 mm. Pada suatu penampang dari 12000 mm² adalah:

$$\triangle l = \frac{\cdots\cdots}{\cdots\cdots} \times \ldots\ldots = \ldots\ldots \text{ mm}$$

TUGAS 12

Untuk sebuah batang (kolom) berlaku, bahwa pada penampang sebesar 10.000 mm², perubahan ukuran-panjang sama dengan 2 mm. Jadi pada suatu penampang dari 4000 mm² adalah:

$$\triangle l = \frac{\cdots\cdots}{\cdots\cdots} \times \ldots\ldots = \ldots\ldots \text{ mm}$$

Jikalau yang telah diterangkan sebelum ini diringkaskan, dapat ditetapkan bahwa pada pembebanan suatu batang atau kolom, terjadi *perubahan ukuran-panjang yang lebih besar:*

1. pada ukuran-panjang batang l yang *lebih besar;*
2. pada tegangan σ yang *lebih besar;*
   a. sebagai akibat dari gaya F yang *lebih besar* dan/atau
   b. sebagai akibat dari suatu penampang-batang A yang *lebih kecil. Akan tetapi* BERAPA BESARNYA *dalam hal tertentu perubahan ukuran-panjang* $\triangle l$ *itu, hingga sekarang belum lagi diketahui.*

Perubahan ukuran-panjang masih tergantung dari faktor lain, yaitu dari *jenis* bahan. Setiap orang mengetahui, bahwa elastik (karet) dapat diregang lebih mudah daripada umpamanya baja.

Baja lebih banyak memberi perlawanan terhadap regangan daripada elastik. Ukuran di mana bahan itu memberi perlawanan terhadap perubahan ukuran-panjang karena pengaruh gaya, dinamakan *elastisitas* bahan.

Untuk dapat mengucapkan elastisitas tertentu dari bahan dalam bilangan, dipergunakan pengertian *modulus-elastisitas.*

Dalam *modulus*-elastisitas dari sesuatu bahan diolah dua faktor:

1. regangan yang terjadi $\epsilon = \frac{\triangle l}{l}$ jadi *perbandingan* antara perubahan ukuran-panjang $\triangle l$ dengan ukuran-panjang l yang semula;
2. tegangan σ yang bekerja, asalkan tegangan ini lebih kecil daripada tegangan-kesebandingan (= evenredigheidsspanning).

Modulus-elastisitas itu, sesungguhnya ialah tak lain tak bukan daripada suatu kebesaran-hitungan yang menunjukkan perbandingan antara tegangan σ dan regangan ϵ dan dengan demikian menunjukkan pula *sifat* bahan, jadi:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Oleh karena ϵ hanya merupakan suatu bilangan (apa sebab?) dan σ mempunyai satuan tegangan (umpamanya N/mm²), maka E juga akan mempunyai satuan tegangan. E itu bukanlah tegangan yang sesungguhnya, melainkan sebagaimana telah dikatakan adalah suatu kebesaran-hitungan (= rekengrootheid) yang sedikit menerangkan tentang sifat bahan, bila pada bahan itu dilakukan gaya.

Jikalau modulus-elastisitas itu besar, umpamanya $E = 210000$ N/mm², ini berarti bahwa bahan hanya sedikit elastis (= kenyal) (bilangan itu demikian besarnya, oleh karena pada tegangan σ yang besar, regangan ϵ adalah sangat kecil).

Bila modulus-elastisitas kecil, umpamanya $E = 300$ N/mm², maka bahan adalah sangat kenyal.

$E = 210.000$ N/mm² berlaku untuk baja;

$E = 300$ N/mm² berlaku untuk kayu.

Jadi kayu adalah lebih kenyal daripada baja.

Dalam rumus $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ dapat diisi $\sigma = \frac{F}{A}$ dan $\epsilon = \frac{\triangle l}{l}$ dan dengan demikian didapatkan:

$$E = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\triangle l}{l}}$$

$$E = \frac{f \cdot l}{\triangle l \cdot A}$$

Rumus terakhir dapat juga dituliskan sebagai (gambar 5-25):

$$\boxed{\triangle l = \frac{F \cdot l}{E \cdot A}}$$

Jadi di sini adalah:

$\triangle l$ =perubahan ukuran-panjang;

F =gaya yang bekerja;

l =ukuran-panjang batang;

A =penampang-batang;

E =modulus-elastisitas.

Cara-tulisan ini dikenal sebagai *Hukum Hooke* dan sekali lagi hanya berlaku bila tegangan yang bekerja lebih kecil daripada tegangan-kesebandingan. Dari rumus terakhir ini, ternyata bahwa perubahan ukuran-panjang Δl di bawah pengaruh suatu gaya ***berbanding terbalik*** dengan modulus elastisitas dari bahan.

Jikalau modulus-elastisitas E menjadi dua kali lebih besar (dengan menggunakan bahan yang lain), maka perubahan ukuran-panjang l hanya seperdua. Pada keadaaan yang tidak berubah, pada modulus-elastisitas:

E, perubahan ukuran-panjang akan menjadi Δl;

2E, perubahan ukuran-panjang akan menjadi $\frac{1}{2}\Delta l$;

10E, perubahan ukuran-panjang akan menjadi $\frac{1}{10}\Delta l$

n.E, perubahan ukuran-panjang akan menjadi $\frac{\Delta l}{n}$

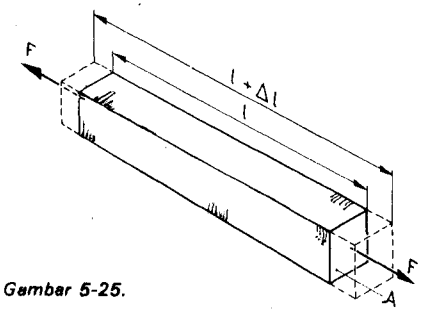
CONTOH 4

Diketahui: Suatu gaya-tekan F dalam sebuah kolom menimbulkan perubahan ukuran-panjang Δl sebesar 4 mm.

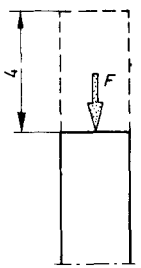
Ditanyakan: Berapakah besarnya perubahan ukuran-panjang, bila modulus-elastisitas menjadi 8 kali lebih besar? (lihat gambar 5-26).

Jawaban: $\Delta l = \frac{1}{8} \times 4 \text{ mm} = 0{,}5 \text{ mm}$

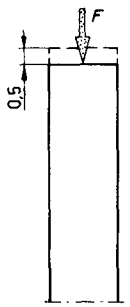
Gambar 5-26.



Gambar 5-25.



modulus-elastisitas *E*



modulus-elastisitas $E_1 = 8E$

TUGAS 13

Untuk sebuah batang (kolom) berlaku, bahwa pada modulus-elastisitas dari 10000 N/mm², perubahan ukuran-panjang adalah 2 mm. Pada modulus-elastisitas dari 8000 N/mm² perubahan ukuran-panjang itu adalah:

$$\Delta l = \frac{\ldots}{\ldots} \times \ldots = \ldots \text{ mm}$$

TUGAS 14

Untuk sebuah batang (kolom) berlaku, bahwa pada modulus-elastisitas dari 9000 N/mm², perubahan ukuran-panjang adalah 4 mm. Pada modulus-elastisitas dari 12000 N/mm², perubahan ukuran-panjang itu adalah:

$$\Delta l = \frac{\ldots}{\ldots} \times \ldots = \ldots \text{ mm}$$

CONTOH 5

Diketahui: Modulus-elastisitas dari baja adalah 210.000 N/mm². Pada sebuah batang dengan ukuran-panjang $l = 3$ m dan penampang $A = 1$ cm² dilakukan gaya F sebesar 14 kN.

Ditanyakan: Hitunglah dengan Hukum Hooke perubahan ukuran-panjang Δl.

Jawaban:

$F = 14 \text{ kN} = 14000 \text{ N}$; $l = 3 \text{ m} = 3000 \text{ mm}$

$A = 1 \text{ cm}^2 = 100 \text{ mm}^2$

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{E \cdot A}; \quad \Delta l = \frac{14000 \text{ N} \cdot 3000 \text{ mm}}{210\,000 \text{ N/mm}^2 \cdot 100 \text{ mm}}$$

$$\Delta l = \frac{42 \cdot 10^6 \text{ N mm}}{21 \cdot 10^6 \text{ N}}; \quad \Delta l = 2 \text{ mm}$$

TUGAS 15

Diketahui: gaya $F = 60$ kN $= 60.000$ N; ukuran-panjang l dari sebuah batang sama dengan 2500 mm; penampang A dari batang sama dengan 7500 mm²; modulus-elastisitas E sama dengan 12000 N/mm². Perubahan ukuran-panjang adalah:

$$\Delta l = \frac{\ldots \times \ldots}{\ldots \times \ldots} = \ldots$$

5.4. Pemuaian lurus.

Sebagaimana yang telah dibicarakan dalam paragrap sebelum ini, perubahan ukuran-panjang dinyatakan dengan Δl, dengan demikian perubahan suhu dapat juga dinyatakan dengan Δt.

Kita semua telah mengetahui, bahwa sebuah batang menjadi lebih panjang pada suhu yang lebih tinggi dan menjadi lebih pendek pada suhu yang lebih rendah. Jikalau perpanjangan batang itu terhambat oleh konstruksi, maka dalam batang akan terjadi tegangan-tekan (gambar 5-27). Akan tetapi batang itu menekan juga kepada konstruksi, oleh karena aksi = — reaksi

Bila perpendekan batang terhambat oleh konstruksi, maka dalam batang akan terjadi tegangan-tarik (gambar 5-28). Akan tetapi batang menarik juga kepada konstruksi, karena aksi = — reaksi. Untuk sebuah batang ternyata (walaupun dapat juga merupakan benda yang lain), bahwa pada perubahan-suhu $\triangle t$ tertentu, perubahan ukuran-panjang $\triangle l$ menjadi lebih besar, bila batang itu menjadi lebih panjang.

Antara ukuran-panjang dan perubahan ukuran-panjang, terdapat suatu hubungan yang berbanding lurus. Jikalau pada perubahan-suhu $\triangle t$ tertentu, ukuran-panjang menjadi dua kali lebih besar, maka juga perubahan ukuran-panjang $\triangle l$ menjadi dua kali lebih besar. Jadi pada suatu perubahan-suhu $\triangle t$, pada:

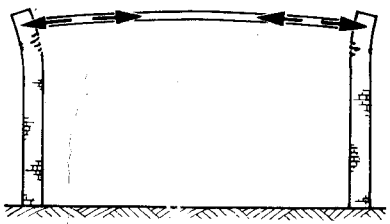
Suatu ukuran-panjang l, perubahan ukuran-panjang akan menjadi $\triangle l$;
suatu ukuran-panjang $2l$, perubahan ukuran-panjang akan menjadi $2\ \triangle l$;
suatu ukuran-panjang $10l$, perubahan ukuran-panjang akan menjadi $10\ \triangle l$;
suatu ukuran-panjang $n—l$, perubahan ukuran-panjang akan menjadi $n.\ \triangle l$.

CONTOH 1

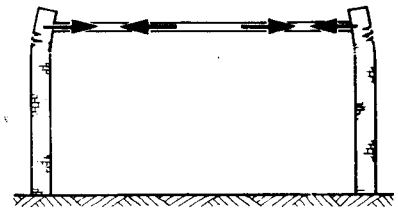
Diketahui: Suatu perubahan-suhu $\triangle t$, menimbulkan penambahan ukuran-panjang $\triangle l$ sebesar 2 mm kepada batang yang panjangnya 1000 mm.
Ditanyakan: Berapakah besarnya pemuaian ukuran-panjang, jikalau panjang batang itu 1500 mm? (lihat juga gambar 5-29).
Jawaban:

1500 mm = 1,5 × 1000 mm; $\triangle l = 1{,}5 \times 2$ mm = 3 mm

$$\triangle l = \frac{1500 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}} \times 2 \text{ mm} = 3 \text{ mm}$$



Gambar 5-27.



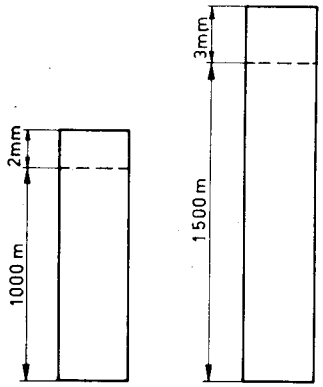
Gambar 5-28.

TUGAS 16

Suatu peningkatan-suhu, menimbulkan penambahan ukuran-panjang sebesar 4 mm dalam sebuah batang dari 1200 mm.

Jikalau panjang batang itu 1800 mm, maka:

$\triangle l$ = ... × .... = ... mm



Gambar 5-29.

TUGAS 17

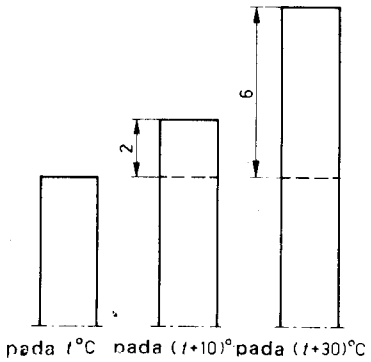
Suatu penurunan-suhu, menimbulkan pengurangan ukuran-panjang sebesar 5 mm dalam sebuah batang dari 2000 mm.
Jikalau panjang batang itu 800 mm, maka:

$\triangle l$ = ... × .... = ... mm

Pada perubahan-suhu $\triangle t$ yang besar, terjadi perubahan ukuran-panjang $\triangle l$ yang lebih besar daripada perubahan-suhu yang kecil. Juga antara perubahan-suhu dan perubahan ukuran-panjang, terdapat suatu hubungan yang berbanding lurus.

Jikalau perubahan-suhu $\triangle t$ diambil dua kali lebih besar, maka perubahan ukuran-panjang $\triangle l$ juga akan menjadi dua kali lebih besar. Jadi suatu perubahan-suhu:

— $\triangle t$, memberikan perubahan ukuran-panjang $\triangle l$;
— $2\ \triangle t$, memberikan perubahan ukuran-panjang $2\ \triangle l$;
— $10\ \triangle t$, memberikan perubahan ukuran-panjang $10\ \triangle l$;
— $n.\ \triangle t$, memberikan perubahan ukuran-panjang $n.\ \triangle l$;



Gambar 5-30.

CONTOH 2.

Diketahui: Sebuah batang tertentu, pada perubahan-suhu 10° C mengalami perubahan ukuran-panjang sebesar 2 mm.

Ditanyakan: Berapa besarnya perubahan ukuran-panjang pada perubahan-suhu sebesar 30° C?(lihat juga gambar 5-30).

Jawaban:

30°C = 3 × 10° C

$\triangle l = 3 \times 2$ mm = 6 mm

TUGAS 18

Sebuah batang tertentu, pada peningkatan-suhu 20° C memperoleh penambahan ukuran-panjang sebesar 3 mm. Pada peningkatan-suhu 50° C, perubahan ukuran-panjang itu adalah:

$\triangle l =$ .... × .... = ... mm

TUGAS 19

Sebuah batang tertentu, pada penurunan-suhu sebesar 25° C memperoleh pengurangan ukuran-panjang sebesar 4 mm (lebih pendek). Pada penurunan-suhu 15° C, pengurangan ukuran-panjang itu adalah:

$\triangle l =$ .... × .... = ... mm

Bila yang diuraikan di atas diringkaskan, dapat ditetapkan bahwa pada perubahan-suhu dari sebuah batang (kolom) berlaku keadaan:

— ukuran-panjang *l* yang lebih besar memberi perubahan ukuran-panjang $\triangle l$ yang lebih besar:

— perubahan-suhu $\triangle t$ yang lebih besar, memberi perubahan ukuran-panjang $\triangle l$ yang lebih besar.

Akan tetapi BERAPA BESARNYA *perubahan ukuran-panjang* $\triangle l$ *itu sesungguhnya, hingga sekarang belum diketahui.* Perubahan ukuran-panjang masih tergantung dari faktor lain, yaitu dari jenis bahan.

Agar pada perubahan ukuran-panjang batang (kolom) juga memperhitungkan jenis bahan yang berada di bawah pengaruh perubahan-suhu, maka digunakan pengertian *kofisen-muai panjang.*

Kofisen-muai panjang dari suatu bahan ialah, perubahan ukuran-panjang dari tiap satuan ukuran-panjang pada perbedaan-suhu sebesar 1° C. Kofisen-muai panjang adalah kebesaran (= grootheid) yang dinyatakan dengan huruf Yunani α (ucapkan "alfa"). Satuan dari kofisen-muai panjang adalah $\frac{m}{m^o C}$ (meter tiap meter tiap derajat Celcius), atau karena $\frac{m}{m} = 1$, juga $1/^\circ C$

Pada ukuran-panjang yang sama dan perubahan-suhu yang sama, bahan dengan kofisen-muai panjang yang tinggi menghasilkan perubahan ukuran-panjang yang lebih besar daripada bahan dengan kofisen-muai panjang yang rendah. Antara kofisen-kofisen muai-panjang dan perubahan ukuran-panjang, terdapat hubungan yang berbanding lurus.

Jikalau pada perubahan-suhu tertentu (dengan melaksanakan bahan yang lain), kofisen-muai panjang menjadi dua kali lebih besar, maka juga perubahan ukuran-panjang akan menjadi dua kali lebih besar. Jadi pada perubahan-suhu $\triangle t$, kofisen-muai panjang:

— α, menghasilkan perubahan ukuran-panjang $\triangle l$;
— 2α, menghasilkan perubahan ukuran-panjang $2\triangle l$;
— 10α, menghasilkan perubahan ukuran-panjang $10\triangle l$;
— $n.\alpha$ menghasilkan perubahan ukuran-panjang $n.\triangle l$.

CONTOH 3

Diketahui: Suatu perubahan-suhu $\triangle t$ menimbulkan perubahan ukuran-panjang $\triangle l$ sebesar 3 mm pada kofisen-muai panjang dari 0,000012/° C (dua belas per sejuta tiap derajat Celcius).

Ditanyakan: perubahan ukuran-panjang $\triangle l$, jikalau kofisen-suhu adalah 0,000016/° C (enam belas per sejuta tiap derajat Celcius)

Jawaban:

$$\triangle l = \frac{0{,}000016/^\circ C}{0{,}000012/^\circ C} \times 3 \text{ mm} = 4 \text{ mm}$$

TUGAS 20

Untuk sebuah batang berlaku, bahwa pada kofisen-muai panjang sebesar 0,00001/° C perubahan ukuran-panjang sama dengan 2 mm. Jikalau kofisen-muai panjang itu 0,00002/° C, maka perubahan ukuran-panjang akan menjadi:

$$\Delta l = \frac{\ldots\ldots}{\ldots\ldots} \times \ldots\ldots = \ldots\ldots \text{ mm}$$

TUGAS 21

Untuk sebuah batang berlaku, bahwa pada kofisen-muai panjang sebesar 0,000004/° C, perubahan ukuran-panjang adalah 1 mm.

Jikalau kofisen-muai panjang itu, 0,000008/° C, maka perubahan ukuran-panjang adalah:

$$\Delta l = \frac{\ldots\ldots}{\ldots\ldots} \times \ldots\ldots = \ldots\ldots \text{ mm}$$

Perubahan ukuran-panjang Δl, pada perubahan-suhu dapat ditentukan, jikalau diketahui:

- ukuran-panjang l;
- perubahan-suhu Δt;
- kofisen-muai panjang α .

Perubahan ukuran-panjang dalam bentuk rumus dapat dinyatakan sebagai berikut (gambar 5-31):

$$\Delta l = l \,.\, \alpha \,.\, \Delta t$$

Di sini adalah:

Δl = perubahan ukuran-panjang; α = kofisen-muai panjang;
l = ukuran-panjang semula; Δt = perubahan-suhu

CONTOH 4.

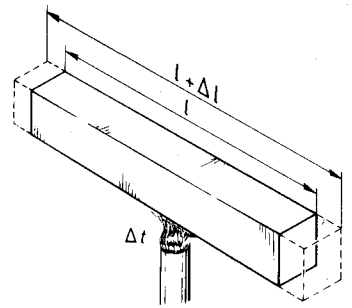
Diketahui: Ukuran-panjang l dari sebuah batang adalah 4000 mm
Perubahan-suhu Δt sama dengan 25° C
Kofisen-muai panjang α sama dengan 0,000004/° C
Ditanyakan: Berapakah besarnya Δl?
Jawaban: $\Delta l = l \,.\, \alpha \,.\, \Delta t$
Δl = 4.000 mm x 0,000004/° C x 25° C
Δl = 4.000 mm x 0,000004 x 25 = 0,4 mm

TUGAS 22

Diketahui: ukuran-panjang l dari sebuah batang adalah 2500 mm; perubahan suhu Δt sama dengan 20° C; kofisen-muai panjang α = 0.000012/° C
Perubahan ukuran-panjang $\Delta l = \ldots\ldots \times \ldots\ldots \times \ldots\ldots = \ldots\ldots$ mm

5.5. Eksponen

Pada modulus-elastisitas dan pada kofisen-muai panjang, kita harus menghitung bilangan-bilangan yang kurang sempurna, memberi ikhtisar (bilangan itu terlampau besar atau terlampau kecil). Bila berhitung dengan bilangan yang semacam itu, kemungkinan untuk membuat kesalahan adalah besar sekali.



Gambar 5-31.

Ambillah sebagai bahan umpamanya baja. Modulus-elastisitasnya sangat besar, yaitu 210.000 N/mm (dua ratus sepuluh ribu). Kofisen-muai panjangnya sangat kecil, yaitu 0,000012/° C (dua belas persejuta).

Dengan cara yang demikian, siapakah yang tidak akan membuat kekeliruan dengan sebuah angka nol?

Bila berhitung dengan bilangan yang besar atau dengan bilangan yang kecil, pembuatan kesalahan itu dapat dikurangi dengan menulisnya sebagai bilangan pangkat dari *10.*

Satu juta, 1.000.000 (sebuah angka satu dengan enam angka nol) terjadi dari perkalian:

10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10
1 2 3 4 5 6

Dan ini ditulis sebagai 10^6 (diucapkan 10 pangkat enam).

10^6 adalah suatu pangkat, yaitu perkalian yang berulang-ulang dengan bilangan yang sama.
6 dinamakan eksponen.
Bila satu juta dibagi oleh sepuluh, akan diperoleh seratus ribu atau 100.000 (sebuah angka satu dengan lima angka nol). 100.000 terjadi dari perkalian:

10 × 10 × 10 × 10 × 10
1 2 3 4 5

Dan perkalian ini ditulis sebagai 10^5 (diucapkan 10 pangkat lima). Angka sepuluh di sini merupakan bilangan-dasar kembali dan angka 5 adalah eksponen.
Bila kita membagi dengan 10, maka angka eksponen berkurang dengan satu.

PERHATIKANLAH INI
Dengan demikian: $10000 = 10^4$
$1000 = 10^3$
$100 = 10^2$ (sepuluh kwadrat)

Bila sekarang 100 atau dapat juga ditulis 10^2 dibagi dengan 10, akan diperoleh angka 10 atau sepuluh pangkat satu.
Jadi $10 = 10^1$. Eksponen 1 biasanya tidak ditulis. Yang ditulis hanya 10. Jika bilangan ini dibagi lagi oleh sepuluh, akan diperoleh angka 1.
Bila pada 10^1 eksponen dikurangi dengan satu, maka diperoleh 10^0 (sepuluh pangkat nol). Jadi $10^0 = 1$

Bila sekarang dibagi lagi dengan sepuluh, maka hasilnya ialah sepersepuluh. Ini dapat juga ditulis sebagai 1/10 atau 0,1.
Telah sama kita lihat bahwa $1 = 10^0$ dan pada pembagian oleh 10, eksponen harus dikurangi dengan satu. Sekarang eksponen menjadi negatif. Dalam hal ini -1.
Jadi 1/10 atau $0,1 = 10^{-1}$ (diucapkan sebagai sepuluh pangkat kurang satu).
Jikalau dilanjutkan dengan pembagian oleh 10 atau eksponen dari bilangan 10 dikurangi dengan satu, maka:

$0,01 = 10^{-2}$
$0,001 = 10^{-3}$
$0,0001 = 10^{-4}$
$0,00001 = 10^{-5}$
$0,000001 = 10^{-6}$

Perhatikanlah:
Jumlah angka nol menunjukkan angka eksponen.

Jikalau angka nol berada di belakang angka satu, maka eksponen adalah positif. Umpamanya $1000 = 10^3$.
Bila angka nol berada di muka angka satu, maka eksponen adalah negatif. Umpamanya $0,001 = 10^{-3}$
Kita lebih senang untuk menggunakan sebagai:
10^6 dan 10^3 sebagai eksponen positif;
10^{-6} dan 10^{-3} sebagai eksponen negatif.
Marilah sekali lagi ditinjau bahan baja. Di sini modulus-elastisitas ditunjukkan sebagai $E = 210.000$ N/mm².
$210.000 = 210 \times 1000 = 210 \times 10^3$
Jadi *E* lebih baik ditunjukkan sebagai: $E = 210 \times 10^3$ N/mm²
Kofisen-muai panjang dari baja adalah 0,000012/° C dan dapat dituliskan sebagai: $\alpha = 0,000012/^\circ C$

$$0,000012 = \frac{12}{1\,000.000} = \frac{12}{10^6} = 12 \times 10^{-6}$$

Jadi α lebih baik ditunjukkan sebagai: $\alpha = 12 \times 10^{-6}\ /^\circ C$

6. KAYU

6.1. Tegangan yang diizinkan.

Tegangan yang diizinkan tergantung dari berbagai macam faktor, yaitu:

1. Arah-serat
2. Kelengasan. Jikalau kayu itu selalu basah (= lembab), maka tegangan yang diizinkan harus dikurangi.
3. Cara menyortir

Dalam kayu-cemara, yaitu apa yang dinamakan kayu-konstruksi yang disortir secara khusus, tegangan-tarik, tegangan-tekan dan tegangan-lengkung dapat ditingkatkan. Dalam penerbitan "Technische Grondslagen voor de berekening van Bouwconstructies" (= Dasar-dasar Teknik untuk perhitungan Konstruksi bangunan) yang disingkat dengan TGB, sebuah tabel memperlihatkan sejumlah nilai dari tegangan yang diizinkan dan kebesaran (= grootheden), elastis (= kekenyalan) untuk kayu-cemara. (lihat tabel 6.1).

Tabel 6 – 1

	jenis-kayu	massa-jenis	kelas kekuatan	Kelas kekeringan II dan III						
				$\bar{\sigma}_b$	$\bar{\sigma}_t$	$\bar{\sigma}_d$	$\bar{\sigma}_{d\alpha}$	τ	$E_{\parallel}$	$E_{\perp}$
		kg/m²		N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²
kelompok 1	kayu-cemara Eropa	500	kayu-bangunan standar	7,0	5,0	6,5	2,0	1.0	10000	300
	Sitka spruce	450								
	Spruce	450	kayu-konstruksi	10.0	9,0	7,5	2,0	1,0	11000	300
	Western hemlock	500								
kelompok 2	Oregon pine	550	kayu-konstruksi	12,0	11,0	9,0	2,0	1,2	12000	400
	Kayu-cemara Amerika	600								

tarik

→ tekan

geser

6.2. Tegangan.

6.2.1. *Tegangan-tekan*

$\sigma_{d//}$ (lihat gambar 6-1)
$\sigma_{d\perp}$ (lihat gambar 6-2)

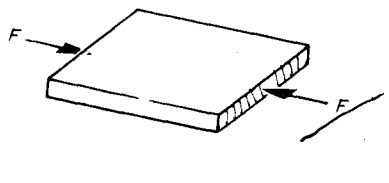
TUGAS 1

Diketahui: Sebuah tiang pangkalan dari kayu yang dipasang di atas suatu landasan, dibebani dengan tekanan (tidak ada terdapat bahaya-tekuk) Kayu: kayu-cemara Eropa, kayu-bangunan standar dalam kelas kekeringan III. Lihat selanjutnya gambar 6-3

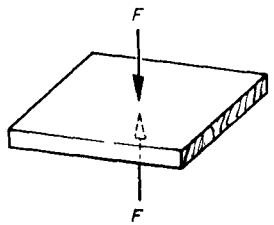
Ditanyakan: tegangan yang diizinkan $\bar{F}$
Jawaban:
Dalam tiang-pangkalan dapat diizinkan sejajar dengan arah-serat:
$\sigma_{d//} =$ ... N/mm²
Dalam landasan dapat diizinkan tegaklurus kepada arah-serat:
$\sigma_{d\perp} =$ ... N/mm²
Jadi:
$F = \sigma_{d\perp} \cdot A = \sigma_{d\perp} \cdot \frac{1}{4}\pi \cdot (120\ mm)^2 =$ ..... N.

TUGAS 2

Sebuah balok kayu vertikal (kolom) dari kayu-cemara, kelompok I, kayu-konstruksi, berdiri di atas sebuah balok kayu horisontal dari jenis-kayu yang sama dengan ukuran 200 mm x 200 mm (lihat gambar 6-4). Untuk kolom tidak terdapat bahaya-tekuk. Kayu itu terus menerus basah. Berapa besarnya gaya-tekan yang diizinkan di atas kolom?

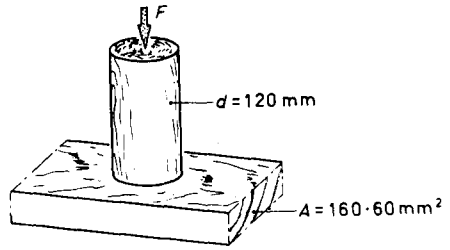


Gambar 6-1.

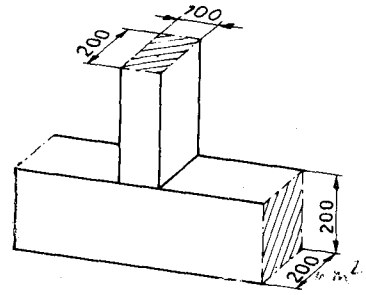


Gambar 6-2.

$F = 6{,}5 \cdot (200)(200)$
$= 13 \cdot 10^4$ N



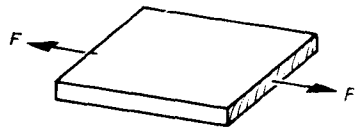
Gambar 6-3.



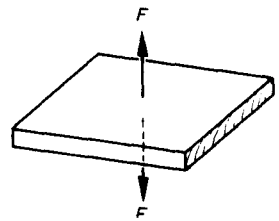
Gambar 6-4.

6.2.2 *Tegangan-tarik*

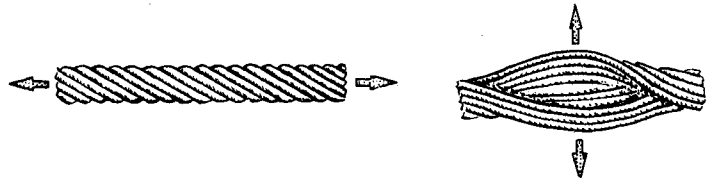
$\sigma_{t//}$ (lihat gambar 6-5)
$\sigma_t = 0$!! (lihat gambar 6-6)
Serat kayu dapat dipersamakan dengan tali, di mana juga berlaku bahwa harus dilakukan penarikan sejajar dengan arah-serat.
Jikalau tidak demikian serat-serat akan tertaik lepas (lihat gambar 6-7).



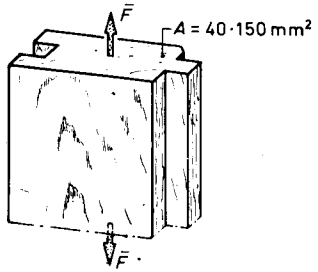
Gambar 6-5.



Gambar 6-6.



Gambar 6-7.

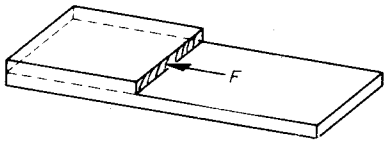


Gambar 6-8.

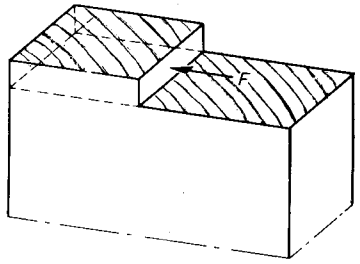
TUGAS 3

Diketahui: Sebuah dinding-bendungan ringan yang ditarik (gambar 6-8).
Kayu: Azobé. $\bar{\sigma}$ = 23 N/mm² (kelas kekeringan V).
Ditanyakan: beban yang diizinkan $\bar{F}$
Jawaban: $\bar{F} = A.\ \bar{\sigma}_t = \ldots.$ N

6.2.3 *Tegangan-geser*
$\tau_{/\!/}$ (lihat gambar 6-9)
$\tau_{\perp}$ (lihat gambar 6-10)



Gambar 6-9.



Gambar 6-10.

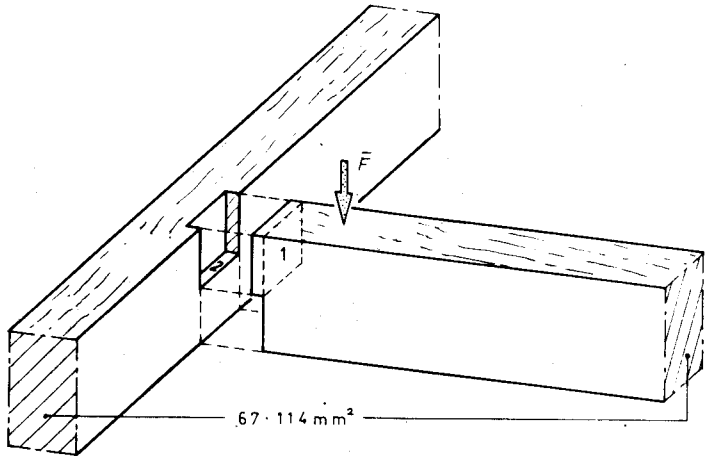
TUGAS 4

Diketahui: Konstruksi-sambungan (raveelconstructie) yang dirumpang setengah kayu menurut gambar 6-11. Dalam rumpangan 17 mm.
Kayu: kayu-cemara Eropa, kayu-bangunan standar dalam kelas kekeringan II.
Ditanyakan:
a. Hitunglah gaya-geser $\bar{F}$ yang diizinkan pada bidang 1.
b. Hitunglah gaya-tekan $\bar{F}$ yang diizinkan pada bidang 2.
c. Yang mana dari gaya $\bar{F}$ yang dihitung itu yang menentukan?
d. Berapakah seharusnya kedalaman rumpangan agar kedua gaya F menjadi sama besar?

Jawaban:
a. Bidang 1 di mana bekerja suatu gaya-geser, mempunyai ukuran luas A = ... mm². Jadi $F = A|.\ \bar{\tau} = \ldots. \times \ldots.$
b. Bidang 2 di mana bekerja suatu gaya-tekan, mempunyai ukuran luas A = ... mm².
Jadi $\bar{F} = A|.\ \bar{\tau} = \bar{\sigma}_{d_\perp} = \ldots. \times \ldots. = \ldots.$
c. Gaya $\bar{F}$ yang terkecil dari a dan b adalah yang menentukan.
Jadi $\bar{F} = \ldots.$
d. Dalam hal ini gaya-tekan harus sama besar dengan gaya-geser yang dimaksud dalam a.
$\bar{F} = \ldots.$ (diketahui); $\bar{\sigma}_{d_\perp} = \ldots.$ (diketahui)

$$A = \frac{\bar{F}}{\bar{\sigma}_{d_\perp}} = \frac{\ldots.}{\ldots.} = \ldots.$$

6.2.4. *Tegangan-lengkung*
Contoh dan soal dibahas dalam jilid III



Gambar 6-11.

6.2.5. *Tegangan-tekuk*

Tegangan-tekuk σ_k tergantung dari perbandingan antara ukuran-panjang dan ukuran-lintang yang terkecil dari kolom (lihat gambar 6-12 dan halaman 33).
Dalam suatu konstruksi harus dibuktikan bahwa $\frac{F}{A} \leqq \bar{\sigma}_k$

Dalam grafik menurut gambar 6-13, diperlihatkan beberapa nilai dari $\bar{\sigma}_k$ untuk kayu-cemara, kelas-kekeringan II dan III dan $\bar{\sigma}_d = 6{,}5$ N/mm²

TUGAS 5

Diketahui

Sebuah pangkalan dari kayu menurut gambar 6-14 dan (secara terperinci) menurut gambar 6-3. Umpamakan, bahwa ditiadakan beberapa balok penahan lampai (= zwiepingen), kayu-tupang pendek (kortelingen) dan kayu penunjang lainnya. Dalam hal ini akan terjadi bahaya-tekuk.

Ditanyakan: Hitunglah besarnya beban yang diizinkan dalam tiang-pangkalan dan di atas landasan.

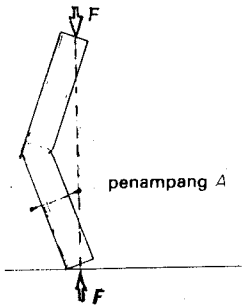
Jawabab: Dalam tiang pangkalan sejajar dengan serat dapat diizinkan:

$$\frac{l}{d} = \frac{360 \text{ cm}}{12 \text{ cm}} = 30$$

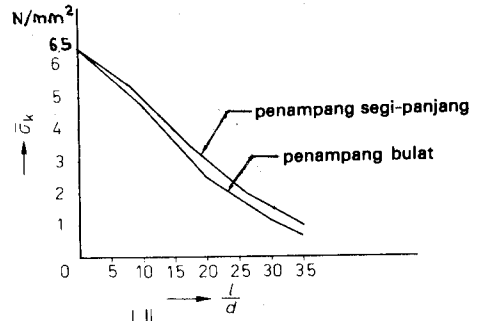
Jadi $\bar{\sigma}_k = \ldots$ N/mm² (lihatlah gambar 6-13)

Dalam landasan berlaku pula $\bar{\sigma}_d = 2{,}0$ N/mm², jadi sekarang:

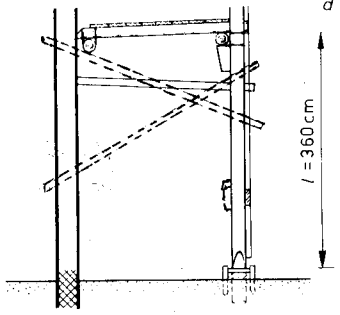
$F = \bar{\sigma}_k \cdot A = \ldots$ N



Gambar 6.12.



Gambar 6.13.



Gambar 6.14.

TUGAS 6

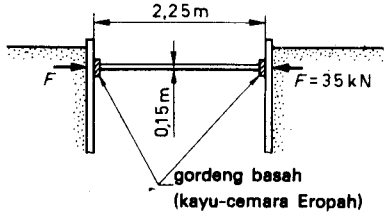
Diketahui: Sebuah stempel dari kayu bulat dalam suatu aluran untuk riol-kota (gambar 6-15).

Ditanyakan: a. Hitunglah tegangan yang bekerja dalam stempel
b. Apakah tegangan ini dapat diizinkan.

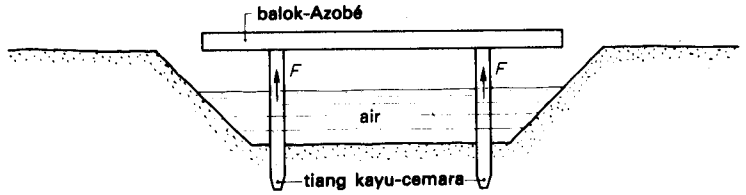
Jawaban:

1. $\frac{l}{d} = \ldots\ldots$
   $\bar{\sigma}_k = \ldots\ldots$ N/mm²
2. $A = \ldots\ldots = 176$ cm²
3. Tegangan yang bekerja ialah: $\sigma = \frac{F}{A}$
   $= \frac{3{,}5 \cdot 10^4 \text{ N}}{1{,}76 \cdot 10^4 \text{ mm}^2}$
   $= 2$ N/mm²

b. Tegangan ini dapat diizinkan karena 2 N/mm² $< \bar{\sigma}_k$



Gambar 6-15.



Gambar 6-16

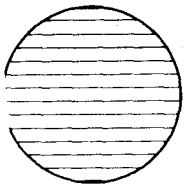
TUGAS 7

Diketahui: Lihat gambar 6.16.
$\bar{\sigma}_{d//}$ dan $\sigma_{d\perp}$ untuk balok-Azobé horisontal, masing-masing adalah 20 dan 8 N/mm².
Untuk tiang kayu-cemara $\bar{\tau}_{d//}$ dan $\bar{\tau}_{d\perp}$ masing-masing adalah 5 dan 1,6 N/mm².
Ditanyakan: Tegangan yang manakah yang menentukan untuk beban F pada tiang?

6.3. Menyusut dan melembung.

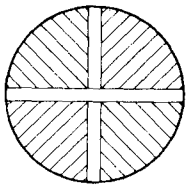
6.3.1. *Cara menggergaji.*

Kita membedakan:
1. Kayu yang digergaji secara *"endosse"* (gambar 6.17);
2. Kayu yang digergaji secara *perempatan* (= radial) (gambar 6.18);
3. Kayu yang digergaji secara *setengah perempatan* atau *setengah radial* atau *perempatan palsu* (gambar 6.19).



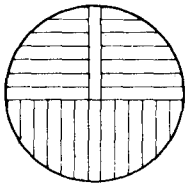
Batang yang digergaji secara "endosse" (papan sebagian besar tangensial).

Gambar 6.17.



Batang yang digergaji secara perempatan atau radial (papan sebagian besar radial).

Gambar 6.18.

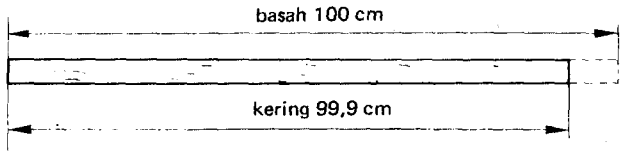


Kayu yang digergaji secara setengah perempatan atau setengah radial atau perempatan palsu.

Gambar 6.19

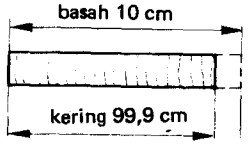
6.3.2 *Menyusut*

Karena bertambah kering, ukuran kayu jadi berkurang (sebaliknya ukuran bertambah besar karena kayu basah).
Gambar 6.20: Susut maksimum dalam arah memanjang kira-kira 0,1%.



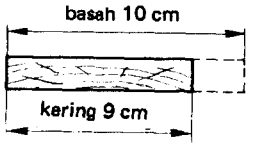
Gambar 6-20.

Gambar 6.21: Kayu radial: gelang-tahunan terutama "berdiri". Susut maksimum dalam arah radial kira-kira 5%.



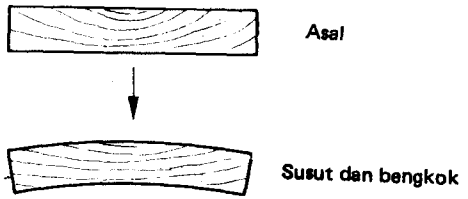
Gambar 6-21.

Gambar 6.22: Kayu tangensial; gelang-tahunannya terutama "tidur". Susut maksimum dalam arah tangensial kira-kira 10%.



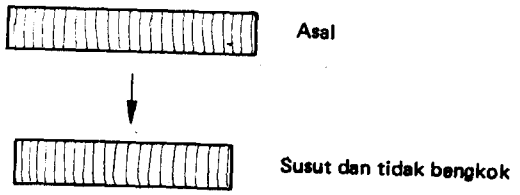
Gambar 6-22.

Gambar 6.23: Waktu menyusut, kayu yang digergaji secara tangensial biasanya membengkok menurut prinsip: gelang-tahunan yang terpanjang menyusut paling banyak.



Gambar 6-23.

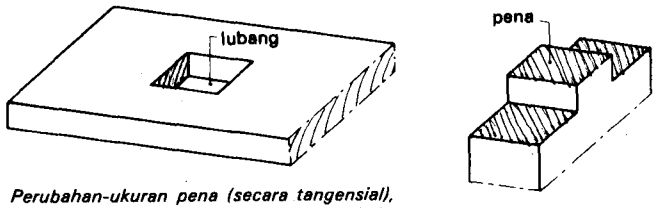
Gambar 6.24: Balok yang digergaji secara radial menjadi lebih kecil (= kurang lebar), akan tetapi tidak bengkok.



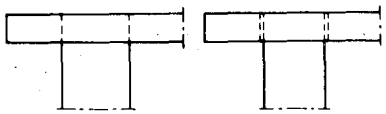
Gambar 6-24.

CONTOH 1

Sambungan-kayu sering kali terlepas sebagai akibat dari perbedaan-susut (gambar 6.25).



Perubahan-ukuran pena (secara tangensial), dapat 100× lebih besar dari pada perubahan-ukuran lubang (arah-memanjang)

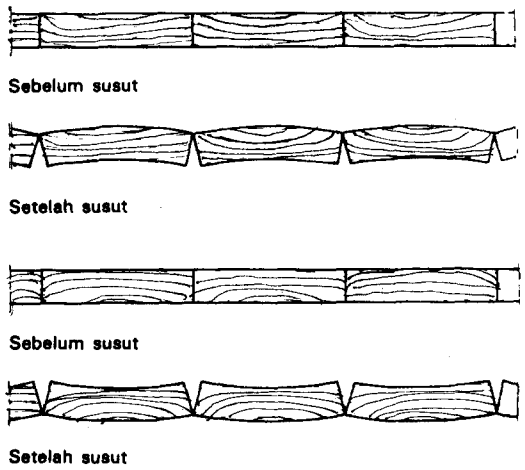


Sebelum susut Setelah susut

Gambar 6-25.

CONTOH 2

Papan lantai harus dipasang sedemikian rupa, sehingga sesedikit mungkin terjadi kampuh pada bagian-atas lantai. Jadi perhatikanlah jalannya gelang-tahunan (gambar 6.26).



Sebelum susut

Setelah susut

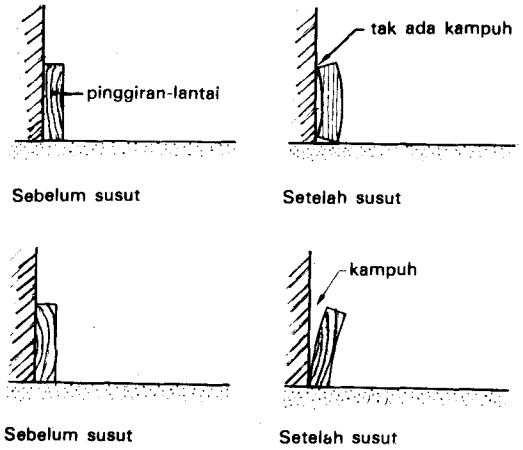
Sebelum susut

Setelah susut

Gambar 6-26.

CONTOH 3

Pemasangan pinggiran-lantai (gambar 6.27).



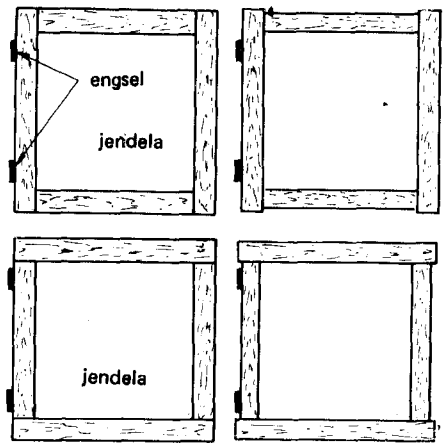
Sebelum susut Setelah susut

Sebelum susut Setelah susut

Gambar 6-27.

CONTOH 4

Konstruksi sebuah jendela. Kayu susut dalam arah-memanjang (arah-melebar) lebih banyak daripada dalam arah aksial (arah memanjang), lihat gambar 6-28.



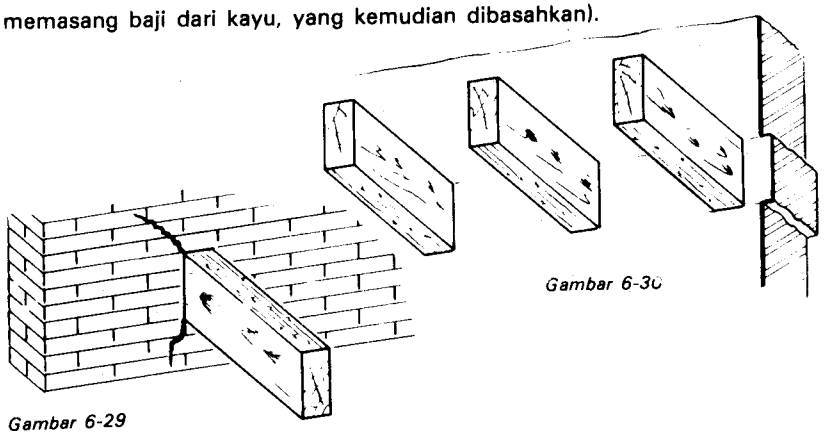
Baik:
Di sini putaran tidak mengalami kesulitan dari proses susut.

Salah:
Jikalau tiang-jendela dipasang antara mistar-atas dan mistar-bawah, setelah menyusut engsel tidak dapat bekerja lagi.

Gambar 6-28.

6.3.3. *Melembung.*

Sebuah balok yang dipasang dalam dinding (gambar 6.29), oleh pengambilan-air dapat melembung dalam arah potensial demikian banyaknya, sehingga dinding tertekan sampai retak (pada zaman dahulu kala, batu-alam dalam parit-batu alam dilepaskan dari dasarnya dengan jalan memasang baji dari kayu, yang kemudian dibasahkan).



Gambar 6-29

Gambar 6-30

Karena pelembungan balok-balok dari suatu lapisan-balok, dapat terjadi bahwa beberapa lapisan antara dinding selebihnya tertekan keluar (gambar 6.30).
Jadi selama dalam pengerjaan, kayu harus memiliki kekeringan, yang kira-kira sesuai dengan keadaan-kering setelah kayu dipasang dalam dinding.

6.4. Elastisitas (= kekenyalan) dan pemuaian.

$E_{//} = 10^4$ N/mm²; $E_{\perp} = 300$ N/mm²
$\alpha_{//} = 4 . 10^{-6}$ /°C; $\alpha_{\perp} = 55 . 10^{-6}$ /°C

TUGAS 8

Diketahui: Dalam sebuah kaki-rusuk (= spantbeen) bekerja gaya-tekan se besar 50 kN. Penampang dari kaki-rusuk adalah 71 x 196 mm². Ukuran-panjang sama dengan 2 m (tekukan diabaikan).
Ditanyakan: Berapa banyakkah kaki-rusuk akan bertambah pendek, sebagai akibat dari gaya ini?

$$(\triangle l = \frac{F . l}{F . A})$$

7. BATU

7.1. Tegangan yang diizinkan.

Konstruksi dalam dinding-tembok, dengan batu-alam dan dalam beton tak bertulang mempunyai ciri bahwa bobot-dirinya besar, sangat tahan-lama dan kekuatan-tarik yang diizinkan kecil. Semenjak dahulu, bahan semacam ini dilaksanakan dalam konstruksi dengan beban-tekanan, seperti umpamanya bangunan-susun (gambar 7.1) dan bangunan-kubah (gambar 7.2).

7.2. Tegangan yang bekeria.

7.2.1. *Tegangan-tekan dan massa-jenis*

Untuk berbagai nilai, lihat gambar 7.3.

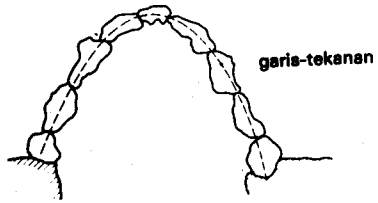
TUGAS 1

a. Hitunglah massa dari suatu dinding dari kelabu-keras (= hardgrauw) dengan ukuran 3 m x 2 m x 0,22 m.
b. Hitung juga bobot dari dinding itu dalam kN. (g = 10 m/det²).

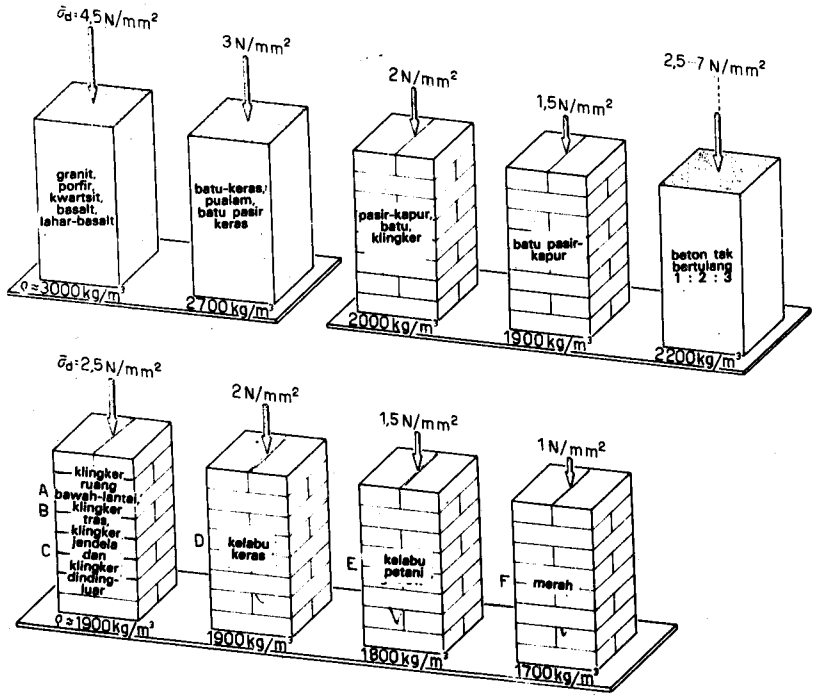
Penjelasan terhadap bahan yang tercantum dalam gambar 7.3.

1. Batu-alam diambil dari gunung-batu yang pejal.
2. Batu pasir-kapur, terjadi dengan jalan mengolah pasir dan kapur di bawah tekanan-uap; warnanya putih-kelabu. Klingker batu pasir-kapur berwarna biru dan diberi stempel.
3. Beton dibuat dengan jalan mencampur semen-portland (pc) atau semen-dapurtinggi (hc), pasir, kerikil dan air menjadi suatu massa seperti bubur. Massa itu dinamakan *spesi-beton.* Setelah spesi itu mengeras dinamakan *mortel-beton* atau disingkat dengan *beton. Beton tak bertulang* adalah beton yang tidak diberi perkuatan baja di dalamnya dan ini kebalikannya dari *beton bertulang* (lihat bab 9).

Gambar 7-1.
Bangunan-susun
(=dinding batu bersusun)



Gambar 7-2. Bangunan-kubah

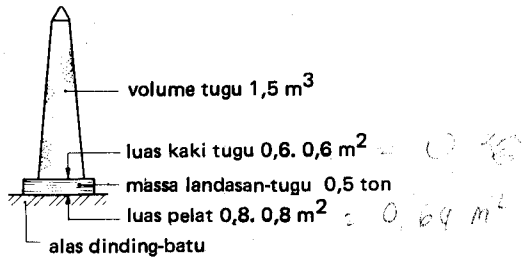


Gambar 7-3.

4. Beton tak bertulang 1 : 2 : 3 berarti, bahwa beton itu terdiri dari campuran dengan 1 bagian-ukuran semen + 2 bagian-ukuran pasir + 3 bagian-ukuran kerikil. (Di samping itu terdapat pula berbagai macam perbandingan-campuran yang lain, lihat halaman . . . [60]).
5. Makin banyak air dipergunakan untuk mengaduk spesi-beton, *makin berkurang kekuatan beton* dan *makin banyak* pula terjadi penyusutan pada waktu mengeras.
6. Batu-tiruan yang dibakar (batu-bata), dibentuk dengan jalan membakar tanahliat.
7. Dalam gambar 7.3 diperlihatkan nama batu-bata dalam urutan (A . . . F) dari sifat pembakarannya. Jikalau bata dibakar sampai keras, dalam batu-bata terjadi persenyawaan-persenyawaan yang keras seperti kaca yang menambah kekuatannya, memperbesar kerapatan airnya dan mengurangi sifat berporinya. Jadi batu klingker ruang bawah-lantai dibakar sampai keras, jenis batu-bata "merah" dibakar lunak ("merah" di sini tidak berhubungan dengan warna batu!!).

TUGAS 2

Diketahui: Suatu tugu-peringatan dengan landasan-tugu (= sokkel) di atas dasar dari kelabu-keras (= hardgrauw) (lihat selanjutnya gambar 7.4).



Gambar 7-4.

Ditanyakan: Hitunglah tegangan-tekan pada landasan-tugu dan pada pelat-alas dan periksalah apakah tegangan itu dapat diizinkan.

Jawaban: Massa tugu adalah: $m = V.\rho$

$m = \ldots \times \ldots = \ldots$ kg

$G = m \cdot g$

$G = \ldots \times \ldots = 45$ kN

Luas kaki-tugu = 0,36 m²

Tegangan dalam bidang antara tugu dan pelat $\sigma = \frac{F}{A}$

$= \frac{45\ kN}{0{,}36\ m^2} = 125\ kN/m^2 = 0{,}125\ N/mm^2$

$\sigma < 4{,}5\ N/mm^2 = \bar{\sigma}$ *porfir*

Massa dari landasan-tugu adalah 0,5 ton = 500 kg

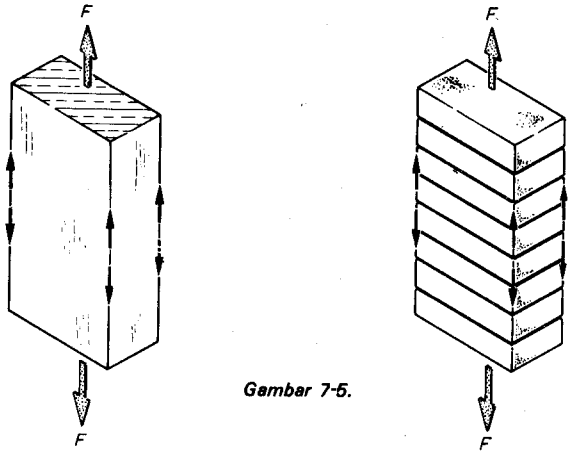
$G = m \cdot g \qquad G = \ldots \times \ldots = 5\ kN$

Jumlah bobot dari tugu dan landasan-tugu (= sokkel) adalah . . .

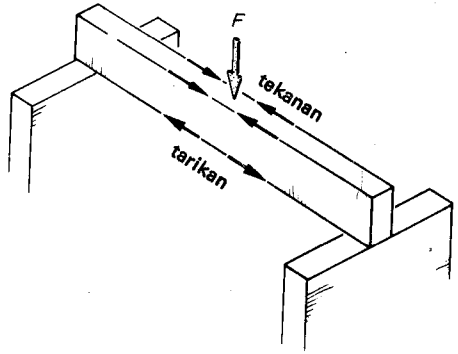
Tegangan dalam bidang antara pelat dan alas dinding-batu adalah:

$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{\ldots}{\ldots} = \ldots\ kN/m^2 = \ldots\ N/mm^2$

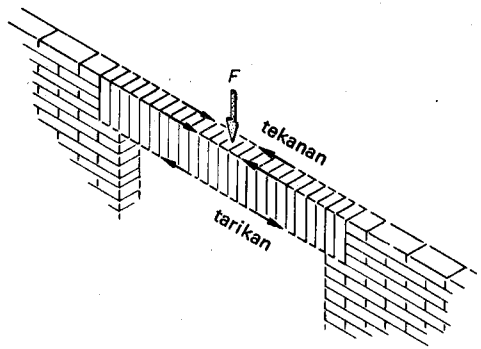
$\sigma < 2\ N/mm^2$ = $\bar{\sigma}$ kelabu-keras (= hardgrauw)



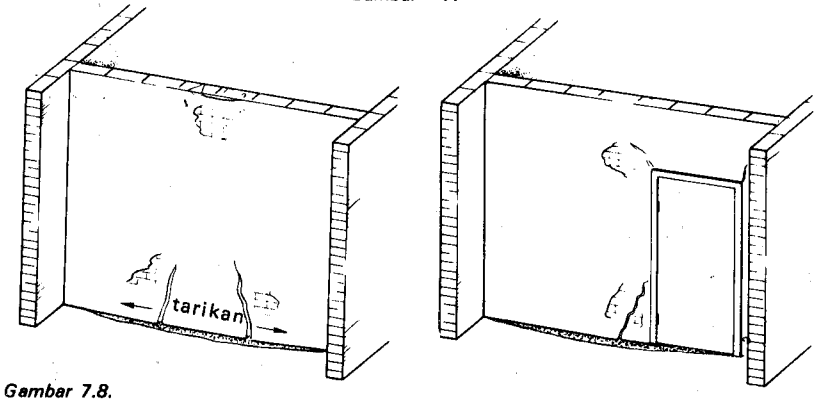
Gambar 7-5.



Gambar 7-6.



Gambar 7-7.



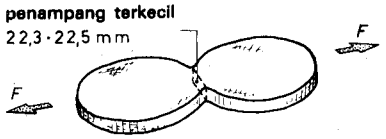
Gambar 7.8.
Bila lantai tempat dinding antara berdiri melengkung ke bawah, akan terjadi retakan karena dinding batu tidak dapat menerima tarikan.

7.2.2. *Tegangan-tarik.*

Hampir semua bahan yang seperti batu adalah bahan yang sangat buruk menerima tegangan-tarik (gambar 7.5).
Jadi konstruksi dalam gambar 7.6, 7.7 dan 7.8 adalah salah (kecuali bila beban *F* sangat kecil jika dibandingkan dengan ukuran dari konstruksi).

TUGAS 3.

Diketahui: Suatu benda-percobaan untuk menentukan kekuatan-tarik dari mortel (lihat gambar 7.9).
Benda-percobaan itu patah pada kekuatan-tarik *F* sebesar 850 N.



Gambar 7.9.

Ditanyakan: Kekuatan-tarik dan tegangan-tarik yang diizinkan.
Jawaban: Kekuatan-tarik jadi sama dengan

$$\sigma_B = \frac{F}{A} = \frac{\ldots}{\ldots} = 1{,}7 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan-tarik yang diizinkan $\bar{\sigma}_t$ adalah jauh lebih kecil (lihat halaman . . . [29]).
Umpamakan bahwa $\nu = 3$, maka: $\bar{\sigma}_t = \frac{1{,}7 \text{ N/mm}^2}{3} = 0{,}56 \text{ N/mm}^2$

Bandingkan nilai ini dengan $\bar{\sigma}_t$ untuk baja normal (lihat halaman . . . [53]). Sekarang sudah jelas, bahwa batu bila dibandingkan dengan bahan lain sangat buruk untuk menerima tegangan-tarik.

7.2.3. *Tegangan geser.*
Lihat juga gambar 7.10 $\boxed{\bar{\tau} = 0{,}7 \text{ N/mm}^2}$

Rumus ini berlaku untuk hampir semua bahan yang seperti batu.

7.2.4. *Tegangan-lengkung.*

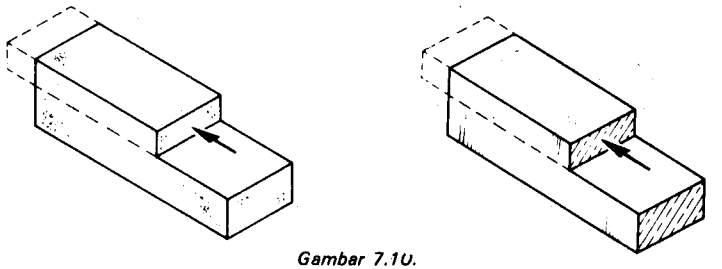
Batu sama sekali tidak dapat menerima tegangan-tarik, jadi juga tidak dapat menerima tegangan-lengkung, kecuali jikalau beban dan bentangan kecil bila dibandingkan dengan ukuran-tinggi balok (lihatlah halaman . . . [13]).

TUGAS 4

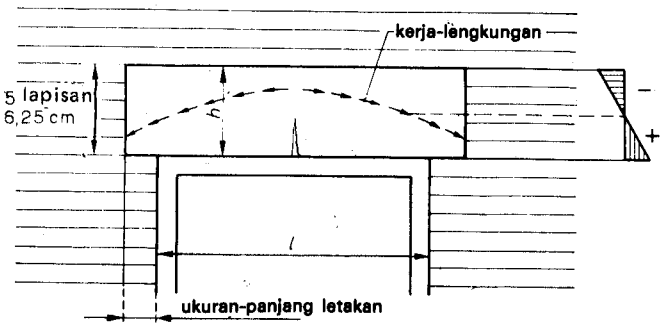
Diketahui: Suatu lantai batu-alam (= natuursteenlatei) dalam sebuah bangunan yang telah direhabilitasikan (gambar 7.11). Konstruksi ini, pada prinsipnya berdasarkan atas kerja-lengkungan (tekanan).
Pada perbandingan $h < \frac{1}{4} l$, besar kemungkinan terdapat retakan pada bagian bawah latai (lihatlah diagram tegangan-lengkung). Aturan-tinju (= vuistregel): $h < \frac{1}{4} l$.

Catatan: Orang-orang Mesir dahulu telah mengetahui pula tentang hal ini, lihatlah halaman . . . [13]).
Ditanyakan: Bentangan maksimum l_{maks}
Jawaban: Pada ketinggian umpamanya dari 5 lapisan, bentangan itu setinggi-tingginya dapat:

$$l_{maks} = \ldots = \ldots \text{ cm.}$$



Gambar 7.10.

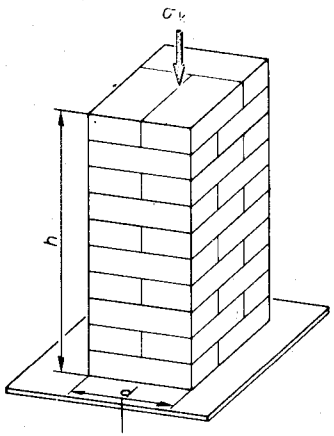


Gambar 7.11.

PERTANYAAN:
Apakah sebabnya ukuran-panjang letakan itu harus sekecil mungkin?

7.2.5. *Tegangan-tekan yang diizinkan dalam kolom dinding-tembok sehubungan dengan bahaya-tekanan.*

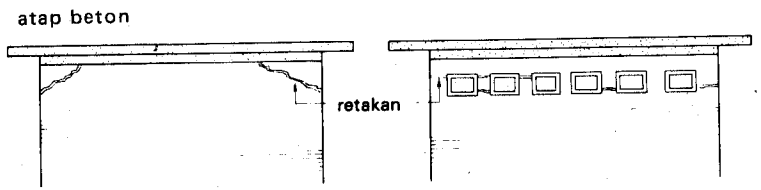
Lihatlah tabel 7.1.



(ukuran lintang terkecil)

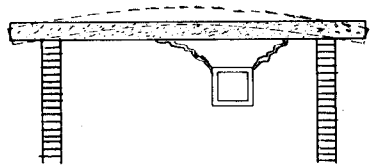
TUGAS 5

Hitunglah gaya-tekan terpusat yang diizinkan pada sebuah pilaster dari dinding tembok (kelabu-keras) dengan ukuran d × b × h = 0,22 m × 0,33 m × 1,10 m.



Gambar 7-12.
Perubahan ukuran-panjang atap oleh perubahan-suhu, mengakibatkan retakan dalam dinding-tembok (sebagai akibat dari cahaya matahari, atap lebih cepat panas daripada dinding).

Gambar 7-13.
Keadaan yang sama akan terjadi bila dalam dinding terdapat lubang-lubang dalam bentuk jendela atau pintu.



Gambar 7-14. Oleh karena bagian-atas atap menjadi lebih panas daripada bagian-bawah, atap akan melengkung ke atas.

Tabel 7.1. Tegangan-tekan yang diizinkan dalam kolom dinding-tembok sehubungan dengan bahaya-tekukan.

Perbandingan dari ukuran-tebal yang terbesar sampai yang terkecil $\frac{h}{d}$	klingker $\bar{\sigma}_k$	klingker kelabu-keras atau klingker batu pasir-kapur $\bar{\sigma}_k$	batu pasir-kapur atau kelabu-petani $\bar{\sigma}_k$
	N/mm²	N/mm²	N/mm²
3.3	2,5	2	1,5
4	1,9	1,5	1,2
5	1,6	1,2	1
6	1,2	1	0,8
10	1	0,8	0,7

Catatan:
1. Jikalau $\frac{h}{d}$ lebih kecil daripada 3,3 tidak terdapat bahaya-tekukan.
2. $\frac{h}{d}$ tidak boleh lebih besar daripada 10.
3. Untuk kolom-beton lihatlah halaman 65.

7.3. Elastisitas.

Modulus-elastisitas dari bahan seperti batu, berada antara 14.10^3 N/mm² dan $30 . 10^3$ N/mm².

7.4. Pemuaian.

Koefisen-muai lurus adalah kira-kira untuk:

batu-bata	$\alpha = 6 . 10^{-6}$ /°C;
batu-kapur	$\alpha = 10 . 10^{-6}$ /°C;
beton	$\alpha = 11 . 10^{-6}$ /°C;
baja	$\alpha = 12 . 10^{-6}$ /°C.

Contoh dalam 7-12 ..... 7-14.

CONTOH

Diketahui: Sebuah lantai-atap (yang tidak disekat) dari suatu pabrik (lihatlah gambar 7-15).

Perbedaan-suhu antara musim panas dan musim dingin adalah 40°C.

Ditanyakan: Muai-lurus $\triangle l$.

Jawaban: Pemuaian pada suhu yang diketahui adalah:

$\triangle l = \alpha . l . \triangle t$

$= 11 . 10^{-6}$ /°C . 20 m . 40 C

$= 8{,}8$ mm.

Dinding-luar sebelah puncak (= kopgevels) akan retak, terutama oleh pertukaran-suhu yang terus menerus.

TUGAS 6

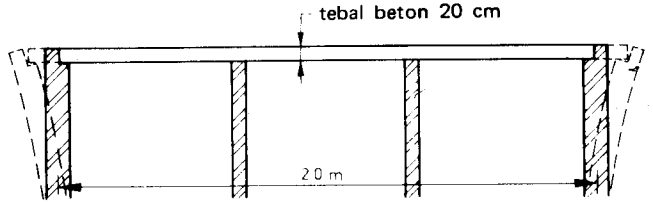
Lukiskanlah bagaimana atap akan berdiri, jikalau:

a. suhu di luar + 40°C dan suhu di dalam + 15°C;

b. suhu di luar − 10°C dan suhu di dalam + 20°C.

TUGAS 7

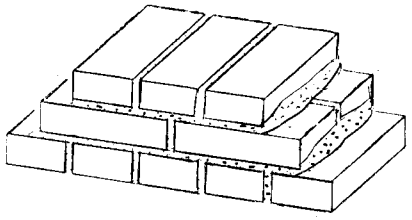
Hitunglah pemuaian dari lantai-atap pada gambar 7-15, bila ukuran-panjang bukan 20 m, melainkan 24 m dan perbedaan-suhu antara musim-panas dan musim-dingin bukanlah 40°C, melainkan 45°C.



Gambar 7-15.

7.5. Mortel.

Batu-bata dihubungkan satu sama lain menjadi dinding-tembok dengan menggunakan mortel (gambar 7-16). Mortel itu sedapat mungkin harus memiliki sifat yang sama dengan batu-bata yang akan dihubungkan.



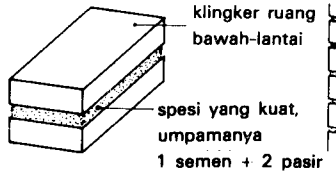
Gambar 7-16.

Sebuah rantai adalah sekuat mata-rantai yang paling lemah: jadi batu-bata yang kuat dengan mortel yang lemah adalah kombinasi yang kurang tepat.

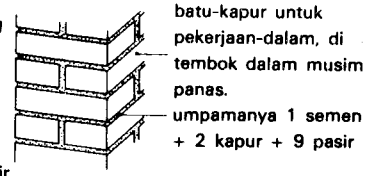
Susunan-mortel itu berbeda untuk:

- batu-beton, batu-bata, batu pasir-kapur;
- pekerjaan rapat-air, pekerjaan tahan-lembab dan pekerjaan biasa.

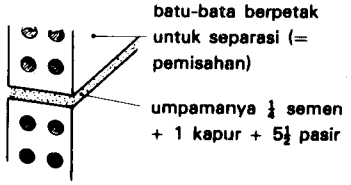
Lihatlah juga gambar 7-17 ..... 7-20.



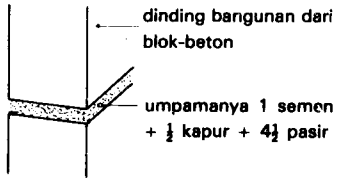
Gambar 7-17.



Gambar 7-18.



Gambar 7-19.



Gambar 7-20.

7.6. Penyusutan.

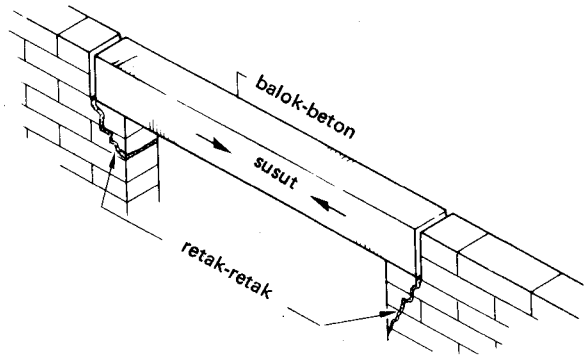
Batu-alam dan batu-bata hampir tidak susut.

Batu pasir-kapur yang baru dan beton baru, secara relatif menyusut sangat banyak dalam bulan-bulan pertama setelah selesai dibuat, sebagai akibat dari proses-pengerasan.

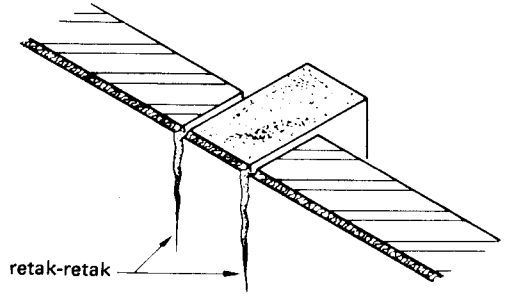
Sebuah balok-beton bertulang yang dituang di atas dinding-tembok batu-

bata akan memecahkan dinding-tembok karena penyusutan, yaitu pada tempat perletakkannya (gambar 7-21).

Untuk pencegahan: beton supaya terlepas dari dinding tembok dengan menggunakan suatu lapisan kertas-aspal.
Suatu kolom-beton dalam dinding batu-bata yang diturap pada satu sisi, akan menimbulkan retakan dalam penurapan (gambar 7-22).



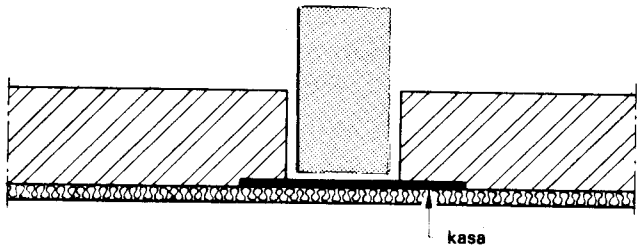
Gambar 7-21.



Gambar 7-22.

Untuk pencegahan: kolom ditempatkan sedikit ke belakang dan lubang yang terjadi ditutup dengan kasa dan di atasnya diberi turapan (gambar 7-23).
Susut dapat juga terjadi karena kadar-lengas yang bertukar-tukar.
Penambahan ukuran-panjang maksimum yang disebabkan oleh pengambilan air adalah:

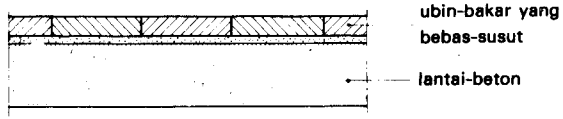
– batu-bata	0,002 . . . . . 0,01%
– beton	0,02 . . . . . 0,03%
– batu pasir-kapur	0,01 . . . . . 0,05%



Gambar 7-23.

CONTOH
Diketahui: Lihatlah gambar 7.24. Lantai-beton susut setelah ubin dipasang sebesar 0,025%. Lebar lantai-beton adalah 10 m.
Ditanyakan: Hitunglah penyusutannya.
Jawaban: Penyusutan itu berjumlah: $\frac{0{,}025}{100} \times 10\ \text{m} =$

$0{,}00025 \times 10.000\ \text{mm} = 2{,}5\ \text{mm}.$



Gambar 7.24.

TUGAS 8
Setelah ubin dipasang, sebuah lantai-beton masih susut sebesar 0,03%. Lebar lantai-beton adalah 8 m.

Penyusutan berjumlah: $\frac{\ldots\ldots}{\ldots\ldots} \times \ldots\ldots = \ldots\ldots$

PERTANYAAN:
Apakah yang akan terjadi dengan ubin itu?
Catatan: Lantai-beton menyusut paling banyak selama fasa-permulaan dari pengerasan. Jadi kurang bijaksana untuk memasang ubin langsung pada lantai-beton yang "baru".

8. BAJA

8.1. Tegangan yang diizinkan dan kekuatan.

Adapun baja adalah kuat, kenyal dan keras dan bila dibandingkan dengan bahan yang lain, susunan baja adalah homogen. Di bawah ini dicantumkan tegangan yang diizinkan untuk baja-konstruksi yang dipergunakan secara normal, yaitu Fe 37.

8.2. Tegangan.

8.2.1. *Tegangan-tekan.*

$\bar{\sigma}_d = 140$ N/mm², asal tidak terdapat bahaya-tekukan, lihatlah halaman 55.

TUGAS 1.

Diketahui: Sebuah gelagar-jembatan dari baja diletakkan di atas pangkal-jembatan dari beton (gambar 8-1).

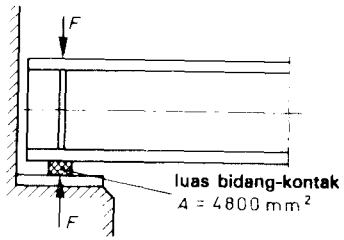
Antara gelagar dan pangkal jembatan terdapat suatu bidang-kontak dari baja.

Ditanyakan: Hitunglah gaya F yang dapat dipindahkan oleh bidang-kontak.

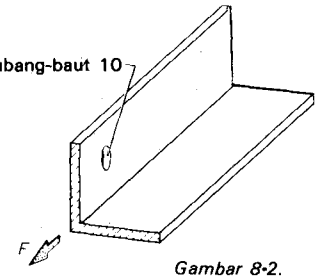
Jawaban: $\bar{F} = A \cdot \bar{\sigma}_d = \ldots . \times \ldots . = \ldots$

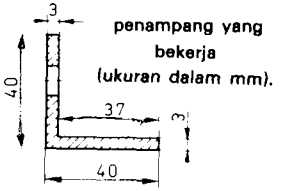
8.2.2. *Tegangan-tarik.*

$\bar{\sigma}_t = 140$ N/mm²; dalam baut-jangkar $\bar{\sigma}_t = 98$ N/mm².



Gambar 8.1.





Gambar 8-2.

TUGAS 2.

Diketahui: Sebuah batang-tarik dari baja-siku (gambar 8-2).
$\bar{\sigma}_t = 140$ N/mm².

Ditanyakan: Gaya $\bar{F}$ yang harus dapat melalui baja-siku yang dilukiskan.

Jawaban:

$\bar{F} = A$ yang bekerja . $\bar{\sigma}_t$

A yang bekerja = A bruto − A lubang-baut

= (40 . 3 mm² + 37 . 3 mm²) − (10 . 3 mm²).

$\bar{F} = \ldots \times \ldots = 28{,}14 \quad 10^3$ N = 28,14 kN.

8.2.3. *Tegangan-geser.*

$\bar{\tau} = 84$ N/mm²;

dalam baut-jangkar juga $\bar{\tau} = 84$ N/mm².

TUGAS 3

Diketahui: Titik-putar sebelah atas dari sebuah pintu-air (pena) (gambar 8-3)

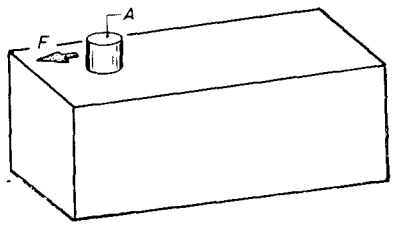
Pada titik-putar, antara lain bekerja suatu gaya F sebesar 50 kN.

Ditanyakan: Luas penampang A dari cembung-putar.

Jawaban: Penampang dari cembung-putar itu harus sekurang-kurangnya:

$$A > \frac{F}{\bar{\tau}} > \ldots > 595 \text{ mm}^2$$

Gambar 8-3.



Tegangan ideal.

Jikalau dalam suatu konstruksi-baja sekaligus terjadi tegangan-normal dan tegangan-geser (lihat gambar 8-4; baut-angker dan kolom baja) maka dengan demikian harus:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leqq \sigma_t$$

Bentuk ini dinamakan tegangan ideal $\bar{\sigma}_i$, jadi:

$\sigma_i = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leqq 140\ \text{N/mm}^2$.

Dalam rumus untuk tegangan ideal terdapat suatu tanda-akar yang ditunjukkan dengan $\sqrt{\ }$.

Apa yang dimaksud dengan mencabut-akar, dapat diterangkan sebagai berikut.

Jikalau dua kali dua sama dengan empat, maka akar dari empat sama dengan dua. Jikalau $2 \times 2 = 2^2 = 4$, maka $\sqrt{4} = 2$

Bila $3 \times 3 = 3^2 = 9$, maka $\sqrt{9} = 3$

Bila $10 \times 10 = 10^2 = 100$, maka $\sqrt{100} = 10$

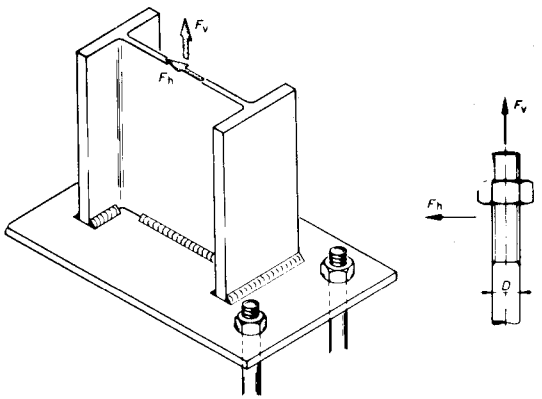
Dengan demikian, maka $\sqrt{16} = 4$

$\sqrt{25} = 5$

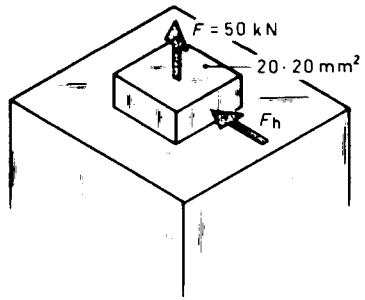
Dengan demikian dapat dikatakan, bahwa akar dari 72 terletak antara 8 dan 9, oleh karena 72 berada antara 64 ($= 8^2$) dan 81 ($= 9^2$).

Akar dari suatu bilangan bisa didapatkan dengan jalan:

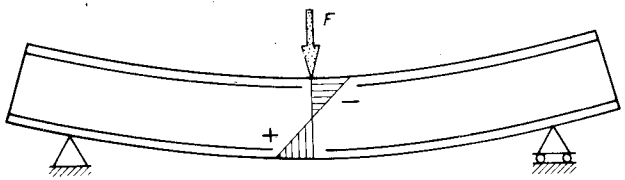
- menghitung (lihat ilmu pasti).
- dibaca dari mistar-hitung;
- dicari dari buku-tabel.



Gambar 8-4.



Gambar 8-5.



Gambar 8-6.

TUGAS 4

Diketahui: Suatu batang baja Fe 37 bujur-sangkar menonjol dari sebuah kolom yang terbuat dari bahan dengan kekuatan tak terhingga dan batang baja itu duduk kukuh dalam kolom (gambar 8.5). Pada batang dilakukan gaya-tarik $F = 50$ kN.

Ditanyakan: Berapakah besarnya gaya F_h *yang masih diizinkan sebagai gaya tambahan terhadap batang?*

Perhitungan:

$$\sigma_t = \frac{50\ kN}{20 \times 20\ mm^2} = \ldots\ N/mm^2$$

$$\bar{\sigma}_i = \sqrt{\sigma_t^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\ldots + 3\tau^2} \leqq 140\ \text{N/mm}^2$$

Dari sini ternyata: $\tau = \ldots$. *dan* $F_h = \tau \cdot A = \ldots$.

8.2.4. *Tegangan-lengkung.*

Lihat juga gambar 8.6.
$\bar{\sigma}_b = 140\ N/mm^2$
Contoh dan soal dalam jilid III.

8.2.5. *Tegangan-tekuk.*

Pada penampang persegi panjang dan penampang bulat yang penuh (gambar 8.7), seperti biasanya terdapat pada batu dan pada kayu, tegangan-tekuk $\bar{\sigma}_k$ yang diizinkan, tergantung dari ukuran-panjang tekuk l_k dan dari ukuran-lintang d yang paling kecil.
Pada profil yang bergabung, seperti bumbung (= kokers) kayu dan sebagainya dan juga pada profil baja (gambar 8.8), keadaan ini tidak lagi sebegitu mudah. Untuk pengertian "kelangsingan" yang diterangkan pada halaman . . . [33]), dipergunakan simbol λ (ucapkan lambda). Sekarang berlaku:

$$\lambda = \frac{l_k}{i}$$

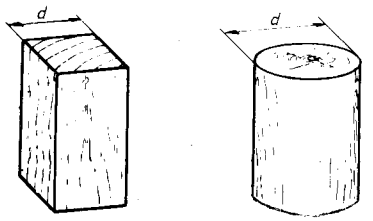
Di sini adalah: λ = kelangsingan
l_k = ukuran-panjang tekuk
i = jari-jari kelambanan
Jari-jari kelambanan dapat dihitung dengan:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

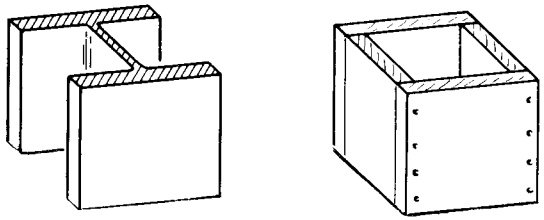
Di sini adalah:
A = luas dari penampang;
I = momen-kelambanan
Untuk kebanyakan orang, pengertian tentang "jari-jari kelambanan" dan "momen-kelambanan" merupakan pengertian yang asing.

Janganlah hal ini dicari-cari lebih jauh daripada kebesaran teknik-perhitungan, yang berada untuk perbandingan tertentu.

Dalam jilid 2 kita akan meninjau kembali pengertian tentang "momen-kelambanan".



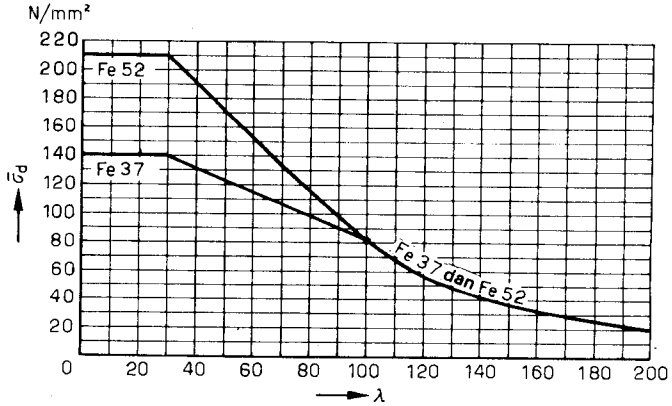
Gambar 8-7.



Gambar 8-8.

Sekarang sementara dapat ditetapkan, bahwa momen-kelambanan adalah ukuran untuk menunjukkan sampai ke mana bentuk dan ukuran dari konstruksi dapat menahan pelengkungan dan tekukan.

Suatu konstruksi mempunyai berbagai momen-kelambanan yang tergantung dari arah ke mana perlawanan itu harus berlangsung. Pada penentuan tegangan yang diizinkan pada tekukan, jari-jari kelambanan yang paling kecillah yang menentukan (lihat juga gambar 8-9).



Gambar 8-9.

Perhatikan:

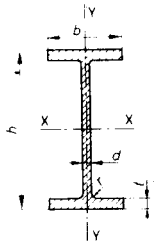
1. *Momen-kelambanan yang besar, menghasilkan jari-jari kelambanan yang besar.*
2. *Jari-jari kelambanan yang besar,* menghasilkan *kelangsingan* λ *yang kecil.*
3. *Kelangsingan yang kecil,* menghasilkan tegangan-tekan yang *diizinkan yang besar* (lihat grafik 8.9).

TUGAS 5.

Buatkanlah suatu pembahasan yang sama untuk momen-kelambanan yang kecil.

1. *Momen-kelambanan yang kecil,* menghasilkan . . . .

Untuk balok-baja tersedia tabel, di mana di samping keterangan-keterangan lain, juga terdapat momen-kelambanan dan jari-jari kelambanan terhadap sumbu — x dan terhadap sumbu — y.
Pada gambar 8-10 diperlihatkan sebagian dari tabel semacam itu untuk profil —IPE.



Gambar 8-10

Profil IPE	Ukuran h	b	d	t	r	Penampang A	Massa m	Kebesaran terhadap sumbu lengkungan x – x I_x	W_x	i_x	y – y I_y	W_y	i_y
	mm	mm	mm	mm	mm	10^2 mm^2	kg m	cm^4	cm^3	cm	cm^4	cm^3	cm
IPE 80	80	46	3,8	5,2	5	7,64	6,00	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05
IPE 100	100	55	4,1	5,7	7	10,3	8,10	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24
IPE 120	120	64	4,4	6,3	7	13,2	10,4	318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45
IPE 140	140	73	4,7	6,9	7	16,4	12,9	541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65
IPE 160	160	82	5,0	7,4	9	20,1	15,8	869	109	6,58	68,3	16,7	1,84
IPE 180	180	91	5,3	8,0	9	23,9	18,8	1320	146	7,42	101	22,2	2,05
IPE 200	200	100	5,6	8,5	12	28,5	22,4	1940	194	8,26	142	28,5	2,24

TUGAS 6

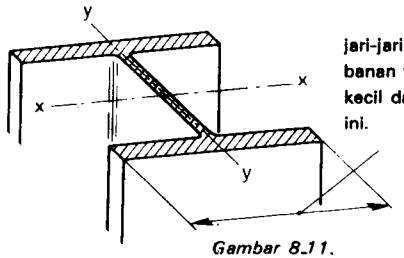
Tentukanlah tegangan-tekan yang diizinkan $\bar{\sigma}_d$ pada kelangsingan λ sebesar 60: pada baja Fe 37; pada baja Fe 52.

TUGAS 7

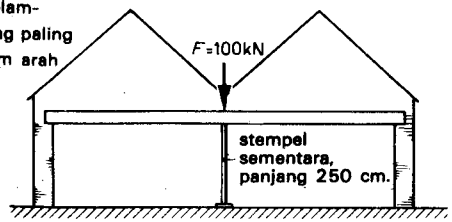
Tentukanlah untuk baja Fe 37 tegangan-tekan yang diizinkan, jikalau ukuran-panjang l = 300 cm dan jari-jari kelambanan i_{min} = 4 cm.

TUGAS 8

Tentukanlah untuk baja Fe 52 tegangan-tekan yang diizinkan, bila ukuran panjang l = 3,60 m jari-jari kelambanan i_{min} = 3 cm.



Gambar 8.11.



Gambar 8.12.

Bandingkanlah dengan ukuran-lintang paling kecil pada batu.

CONTOH

Diketahui: **Sebuah kolom baja HE 300 B mempunyai jari-jari kelambanan** i_x = ***13 cm dan*** i_y = ***7,58 cm. Ukuran-panjang tekunan*** l_k = ***400 cm (lihat juga gambar 8-11). Luas A dari profil adalah 149,1 . 10² mm². Bahannya ialah Fe 37.***

Ditanyakan: **Tentukanlah beban-tekukan** $\bar{F}$ **yang diizinkan.**

Jawaban: **Kelangsingan** λ **terbesar adalah:**

$$\lambda_y = \frac{l_k}{i_y} = \frac{400\text{ cm}}{7{,}58\text{ cm}} = 53$$

Pada λ_y = 53, **tegangan-tekan** $\bar{\sigma}_d$ **yang diizinkan (tegangan-tekuk** $\bar{\sigma}_k$**) menurut grafik (gambar 8.10) adalah 120 N/mm².**
Beban-tekuk $\bar{F}$ **yang diizinkan adalah**

$\bar{F} = \bar{\sigma}_k \cdot A$
$= 120\text{ N/mm}^2 \times 149{,}1 \cdot 10^2\text{ mm}^2$
$= 1789200\text{ N} = 1789{,}2\text{ kN}$

TUGAS 9

Diketahui: **Seorang pemborong harus merubah suatu rumah kembar men-**

jadi sebuah toko dan sebagai stempel sementara (= tupang sementara) tersedia profil IPE 160 (lihat gambar 8.12).
Bobot yang harus didukung oleh stempel itu adalah 100 kN.
Ditanyakan: Apakah profil IPE 160 itu cukup kuat untuk menahan bobot tersebut?

Jawaban: $i_x = 6{,}58$ cm

$i_y = \ldots\ldots$

$\lambda_{maks} = \frac{\ldots\ldots}{\ldots\ldots} = \ldots\ldots$

$\bar{\sigma}_k = \ldots\ldots$ N/mm²

$A = \ldots\ldots$ mm²

$F = A \,.\, \bar{\sigma}_k = \ldots\ldots \times \ldots\ldots = \ldots\ldots$ N $= \ldots\ldots$ kN

Profil itu $\frac{\text{cukup}}{\text{tidak}}$ kuat untuk menahan bobot.

8.3. Elastisitas.

Untuk baja dapat dipertahankan $E = 210 \,.\, 10^3$ N/mm²

TUGAS 10

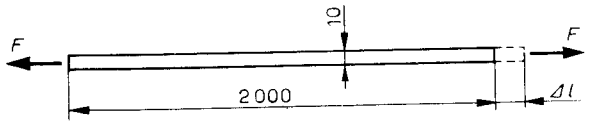
Diketahui: Sebuah batang baja bulat Fe 37, panjang 2 m, dibebani oleh gaya-tarik sebesar 10 kN (gambar 8.13).
Ditanyakan:
1. Berapakah besarnya penambahan ukuran-panjang dari batang?
2. Jikalau $F = 20$ kN, apakah Hukum Hooke masih berlaku?

8.4. Pemuaian.

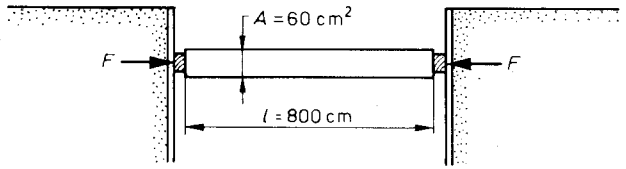
Untuk baja dapat dipertahankan $\alpha = 12 \,.\, 10^{-6}$/°C

8.5. Massa jenis.

Untuk baja dapat dipertahankan $\rho = 7000$ kg/m³



Gambar 8.13.



Gambar 8.14.

CONTOH

Diketahui: Sebuah stempel baja (pipa bulat) dalam suatu sumur-bangunan (gambar 8.14). Waktu dimasukkan, suhu adalah 0°C dan dapat menjadi 50°C.
Ditanyakan: Hitunglah tegangan-tekan yang terjadi dalam pipa?
Jawaban: Untuk menghitung tegangan yang bekerja, dapat terjadi dua macam keadaan.

Keadaan 1: dinding sumur-bangunan dapat bergeser. Perpanjangan stempel adalah: $\Delta l = \alpha \,.\, l \,.\, \Delta t = 12 \times 10^{-6}$ /°C × 800 *cm* × 50°C = 0,48 *cm.*
Keadaan 2: Dinding sumur-bangunan kokoh, jadi tinggal pada tempatnya. Ukuran-panjang yang baru:

$l_t = l + \Delta l = 800$ cm + 0,48 cm = 800,48 cm harus dikembalikan menjadi 800 cm dengan $\Delta l = 0{,}48$ cm.
Untuk keperluan tersebut dibutuhkan gaya-tekan sebesar:

$$F = \frac{E \,.\, A \,.\, \Delta l}{l_t} = \frac{210 \,.\, 10^3 \text{ N/mm}^2 \times 60 \text{ cm}^2 \times 0{,}48 \text{ cm}}{800{,}48 \text{ cm}}$$

$$= \frac{21 \times 10^6 \text{ N/cm}^2 \times 60 \text{ cm}^2 \times 0{,}48 \text{ cm}}{800{,}48 \text{ cm}} = 75555 \text{ N} = 75{,}555 \text{ kN}$$

Tegangan dalam pipa adalah:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{75.555 \text{ N}}{60 \text{ cm}^2} = \frac{75.555 \text{ N}}{6.000 \text{ mm}^2} = 12{,}6 \text{ N/mm}^2$$

Di sini berlaku Hukum Hooke, karena $\sigma < \bar{\sigma}$

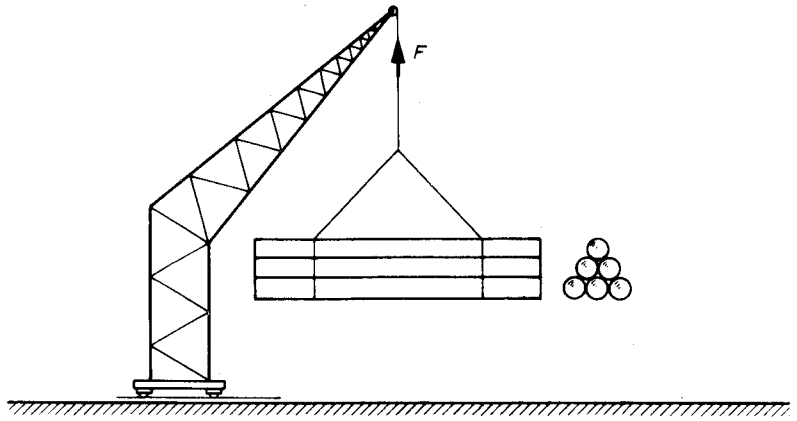
Catatan: Keadaan yang sebenarnya berada antara keadaan 1 dan 2.
Dinding akan bergeser sedikit, pipa akan memuai sedikit.
Selanjutnya harus berlaku $\sigma < \bar{\sigma}_k$
Pengaruh tekanan-tanah di sini diabaikan.

TUGAS 11

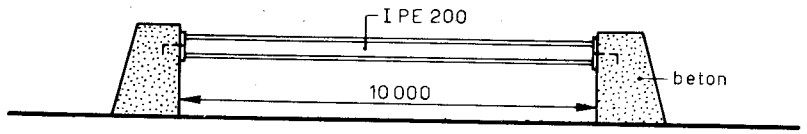
Dalam teknik terdapat jenis-baja bernilai tinggi, di mana tegangan boleh lebih besar dari 140 N/mm², umpamanya dalam kabel-baja.
Diketahui: Pipa-pipa dari contoh sebelum ini dibawa dengan mobil-truk. Pipa-pipa itu dibongkar sekaligus enam buah dengan bantuan sebuah keran (gambar 8-15). Kabel-baja dari keran, mempunyai penampang sebesar 80 mm².
Ditanyakan: Hitunglah tegangan dalam kabel-angkat.
Catatan: Kita harus mengumpamakan, bahwa beban tergantung dengan tidak bergerak.
Kita telah mengetahui, bahwa tegangan dalam kabel-angkat lebih besar daripada waktu mengulur.

SOAL-SOAL:

1. Apakah sebabnya demikian?
2. Dan apakah yang terjadi waktu beban direm dengan kuat?



Gambar 8-15.



Gambar 8-16.

TUGAS 12

Diketahui: Sebuah profil IPE 200 pada suhu + 30°C dihubungkan dengan kokoh pada ujung-ujungnya dengan dinding beton bertulang. Ukuran-panjang balok baja adalah 10 m (gambar 8-16).
Ditanyakan: Jikalau suhu sekarang turun sampai + 10°C, berapakah besarnya tegangan dalam balok sebagai akibat dari turunnya suhu itu?

SOAL

Apakah bobot-diri balok masih mempunyai pengaruh terhadap pembagian-tegangan?

9. BETON BERTULANG

9.1. Bahan.

9.1.1. *Beton bertulang = beton + baja.*

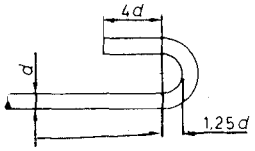
Beton bertulang adalah kombinasi dari bahan seperti batu (beton) dengan baja. Kombinasi itu mungkin dilaksanakan karena:
1. bahan melekat dengan sempurna terhadap satu sama lain;
2. kofisen-muai dari bahan-bahan hampir sama besar.

Beton yang "lazim" dipergunakan (B 125) mempunyai kwalita sedemikian rupa, sehingga:

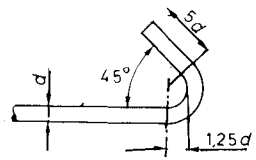
$\bar{\sigma}_d = 7{,}5$ N/mm² dan
$\bar{\tau} = 0{,}85$ N/mm²
Massa-jenis $\rho = 2.400$ kg/m³

9.1.2. *Tulang-beton.*

Baja, yaitu tulangnya dilaksanakan dalam bentuk batang-batang bulat; ujung-ujung batang biasanya dibuat berkait, agar baja dapat terjangkar dengan sempurna dalam beton.
Ukuran kait: lihat gambar 9.1 dan 9.2.
Kwalita dari baja yang dipergunakan adalah sedemikian rupa, sehingga:
$\bar{\sigma}_t = 140$ N/mm²



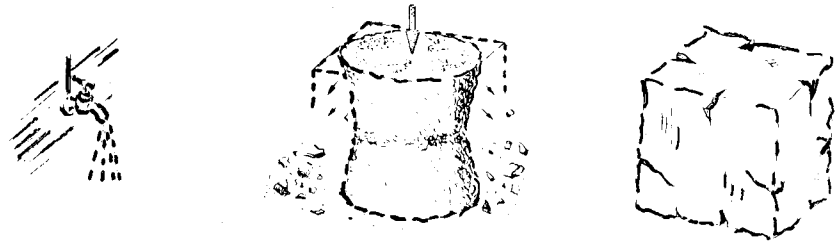
Gambar 9.1.

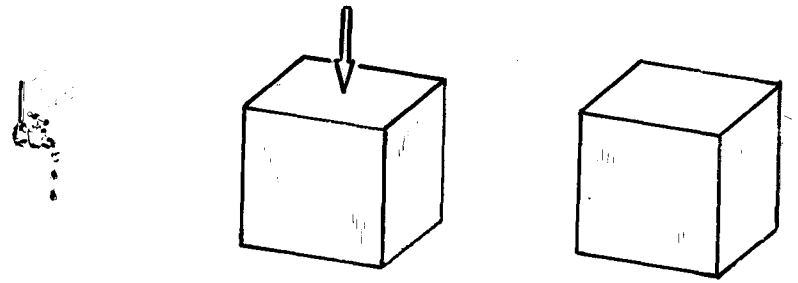


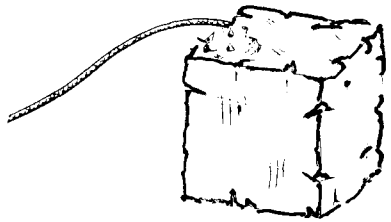
Gambar 9.2.

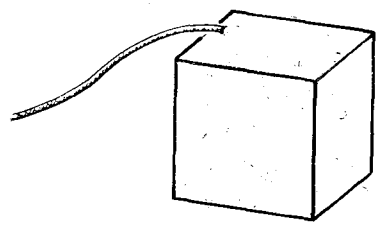
9.1.3. *Air.*

1. Gunakanlah sedikit air untuk mencampur (gambar 9.3 dan gambar 9.4).
2. Gunakanlah banyak air waktu proses pengerasan (gambar 9.5 dan gambar 9.6).


Gambar 9.3.
Banyak air, menghasilkan beton lemah yang susutnya besar.


Gambar 9.4.
Sedikit air, menghasilkan beton yang susut hanya sedikit.


Gambar 9.5.
Pembahasan yang kurang sempurna, menambah susut.


Gambar 9.6.
Pembahasan yang sempurna, mencegah susut.

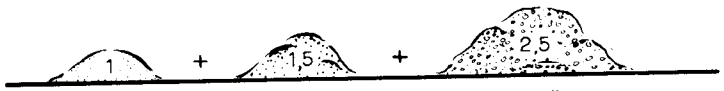
9.1.4. *Perbandingan-campuran (dalam bagian-ukuran).*

1. Untuk konstruksi-beton yang tahan-air, lihat gambar 9_7.
2. Untuk konstruksi-beton normal, lihat gambar 9_8.
3. Untuk lantai-kerja, lihat gambar 9_9.

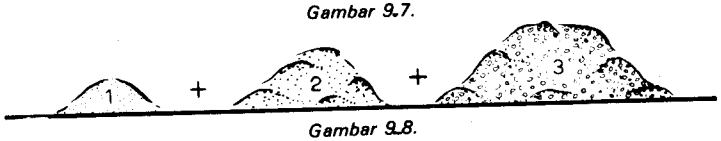
9.2. Tegangan.

9.2.1. *Prinsip dari peralihan-gaya.*

Beton dapat menerima tegangan-tekan dengan sempurna, akan tetapi hampir tidak dapat menahan tegangan-tarik (gambar 9_10 dan 9_11). Oleh sebab itu, tulang dipasang di tempat terjadi tegangan-tarik, karena baja dapat menahan tegangan-tarik dengan sempurna (gambar 9_12).

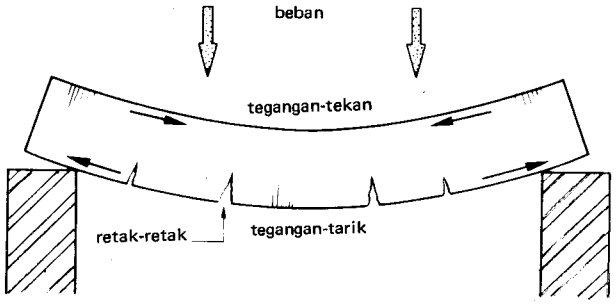


Gambar 9_7.

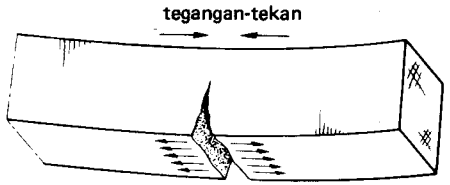


Gambar 9_8.

Gambar 9_9.

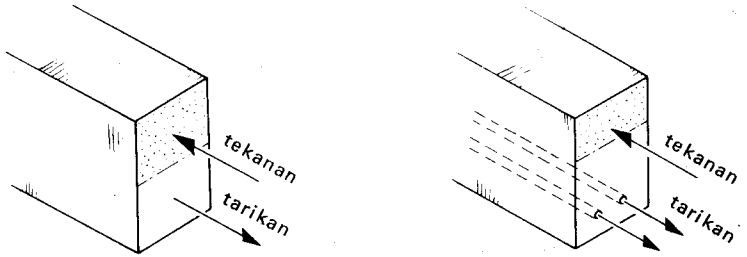


Gambar 9_10.
balok-beton tak bertulang dengan pembebanan.



Gambar 9_11.

Balok tak bertulang memperlihatkan retakan, karena terjadi tegangan-tarik pada bagian bawah balok.



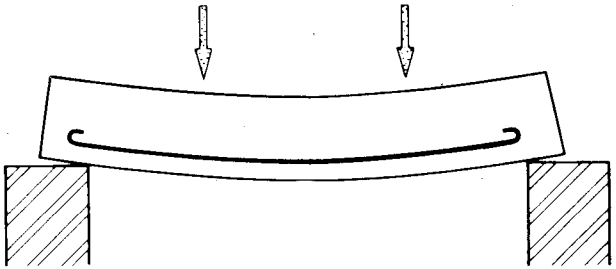
Gambar 9_12.

a) Prinsip peralihan gaya pada balok yang terdiri dari satu macam bahan.

b) Prinsip peralihan-gaya pada balok yang terdiri dari beton bertulang.
Bagian atas balok-beton memindahkan tekanan.
Tulang memindahkan tarikan.

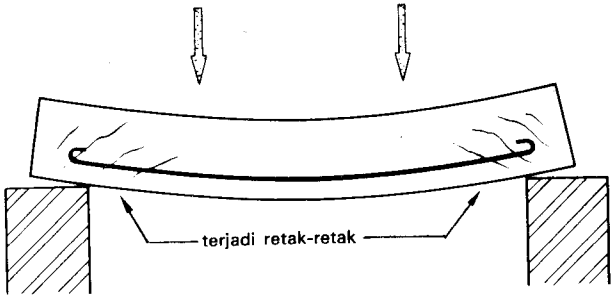
9.2.2. *Tegangan-geser.*

Akan tetapi pada waktu meningkatkan beban, juga terjadi retak-retak dalam balok, oleh karena bagian sebelah atas balok ingin bergeser terhadap bagian sebelah bawah balok (gambar 9_13). Keadaan ini dapat dimengerti dengan memperhatikan sejumlah papan yang disusun ke atas, terlepas terhadap satu sama lain (gambar 9_14).



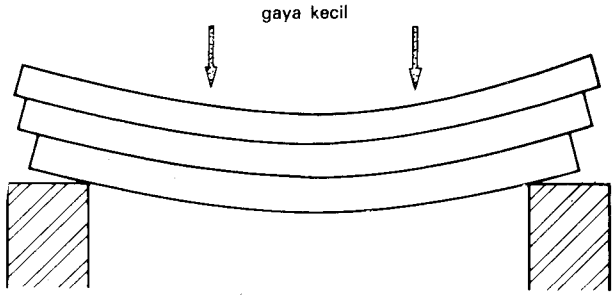
Beban kecil.

Gambar 9.13a.



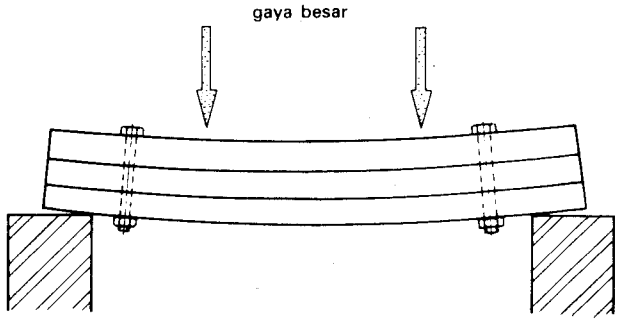
Beban besar.

Gambar 9.13b.



Papan-papan lepas bersusun ke atas dan bergeser terhadap satu sama lain bila dibengkokkan.

Gambar 9.14a.



Gambar 9.14b.

Jikalau pergeseran terhadap satu sama lain itu dicegah dengan baut, maka papan-papan dapat menerima beban yang jauh lebih besar.

Terjadinya retak-retak sebagai akibat dari tegangan-geser dalam balok-beton bertulang, dapat dicegah oleh tulang yang dibengkokkan ke atas dan/atau sengkang (gambar 9.15 dan gambar 9.16). Tulang dan sengkang itu mempunyai fungsi yang sama dengan baut dalam gambar 9.14.

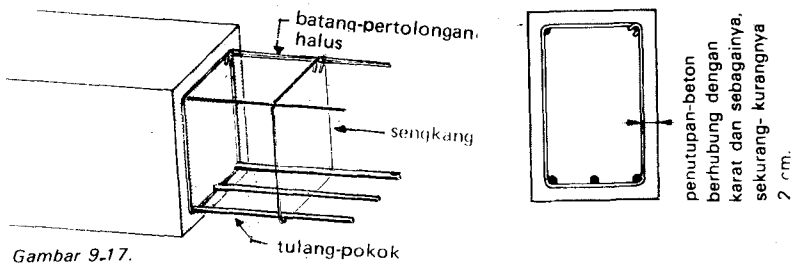
Tulang-pokok supaya selalu dipasang di tempat di mana dalam konstruksi terjadi tegangan "tarik". Untuk detailnya, lihat juga gambar 9.17 9.18 dan 9.19.

Gambar 9.15.

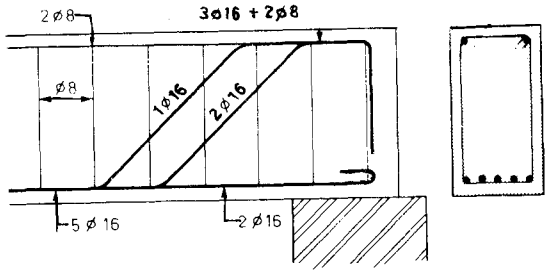
Balok dengan tulang yang dibengkokkan ke atas dan sengkang-sengkang.

Gambar 9.16.

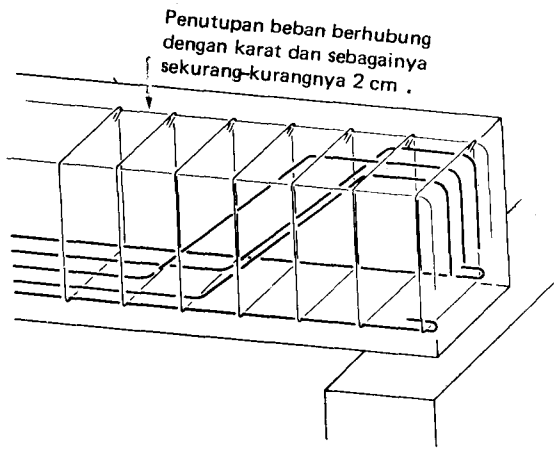
Balok dengan sengkang; untuk pekerjaan-dalam, jarak antara sumbu ke sumbu sengkang dibuat 30 cm dan untuk pekerjaan-luar, jarak itu dibuat 20 cm.



Gambar 9-17.



Gambarr 9-18.
Contoh tulang dari sebuah balok-betok bertulang.

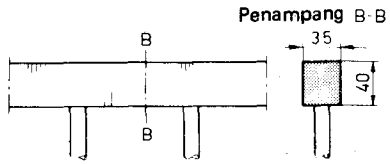


Gambar 9-19.

batang-batang ini dibutuhkan untuk ikatan dari seluruh kerangka-beton.

TUGAS 1.

Balok pondasi di atas tonggak kayu. (gambar 9 – 20).
Menurut VB 1972 pada penggunaan besi beton yang normal potongan penguat utama harus A_w sedikitnya 0,20% dan potongan beton A_b ($A_w \geqq 0{,}0020\ A_b$).

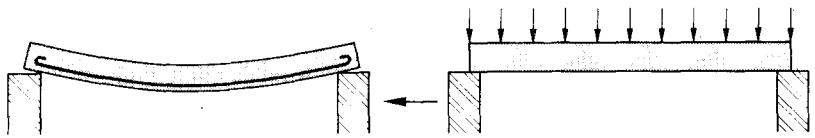


Ditanyakan : Hitunglah $A_{w\ minimal}$ untuk balok yang digambar.

Pertanyaan ;

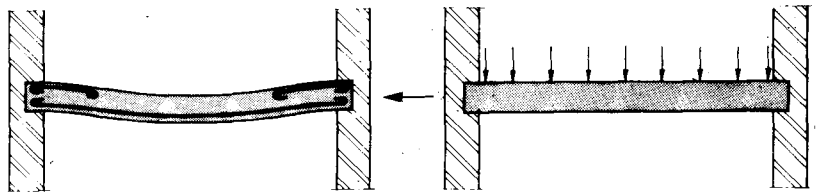
1. Haruskah penguatan ini di bawah atau di atas balok pemasangannya. Ataukah di dalam bawah dan di dalam atas.
2. Apa gunanya beugel dalam balok beton bertulang.

CONTOH-CONTOH TENTANG PENEMPATAN TULANG.



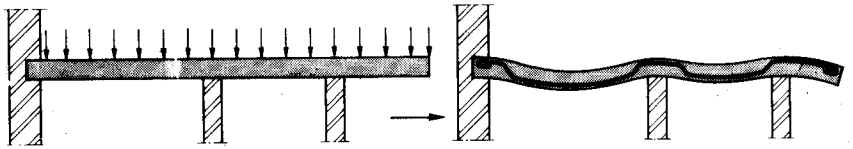
Gambar 9-21.

Balok atau pelat yang diletakkan lepas (berengsel).

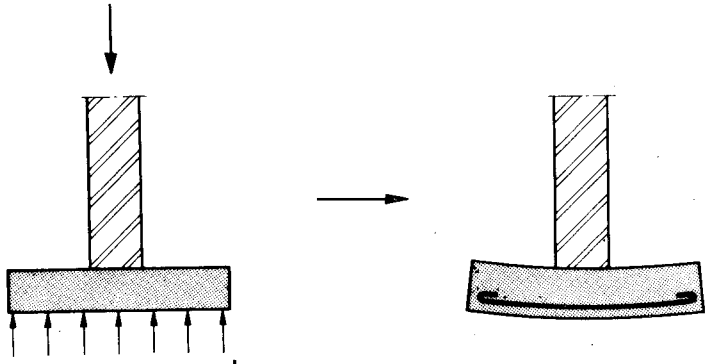


Gambar 9-22.

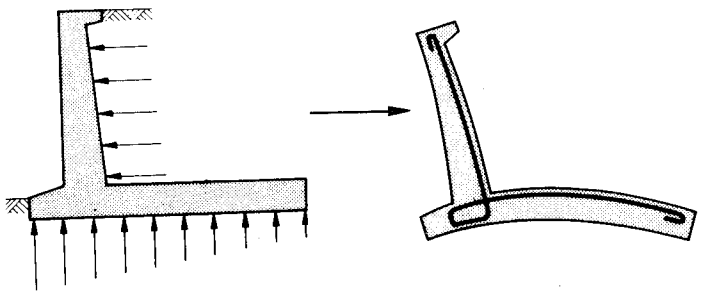
konstruksi yang dijepit atau yang dijepit sebagian.



Gambar 9-23. Balok atau pelat pada berbagai titik-tumpuan.



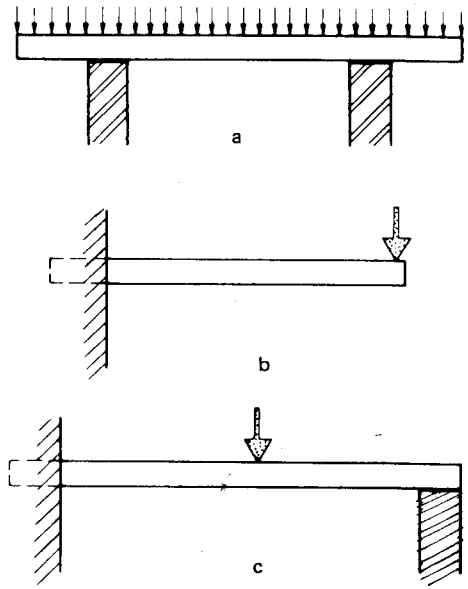
Gambar 9-24. Fondasi



Gambar 9-25. Dinding-penahan.

TUGAS 2.

Lukiskanlah letak dari tulang-pokok untuk balok-beton bertulang dari gambar 9-26.



Gambar 9-26. a-b-c.

TUGAS 3

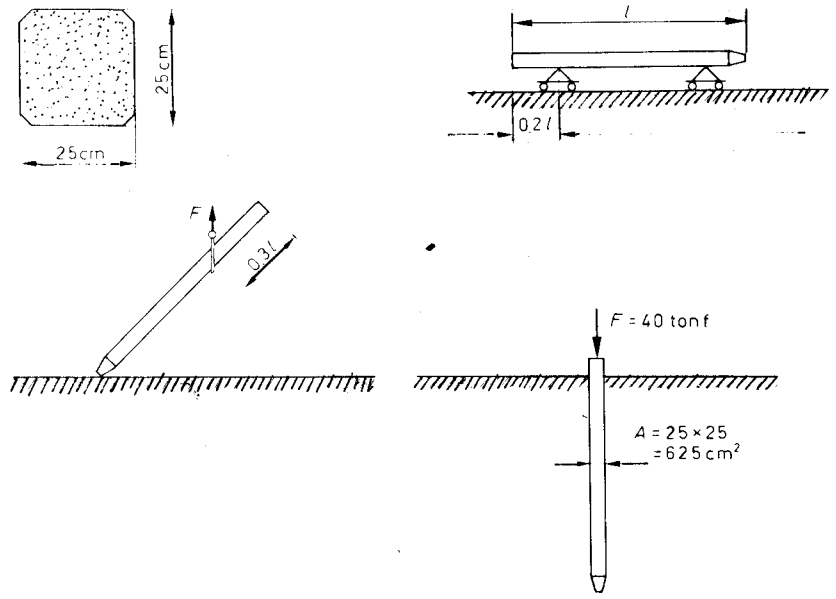
Diketahui: Sebuah tiang-beton bertulang, dibebani menurut berbagai macam cara (gambar 9-27).
Ditanyakan:

1. Lukiskanlah dalam tiap keadaan yang tersebut di atas ini, bagaimana tiang itu melengkung.
2. Jikalau tiang telah dipancang ke dalam tanah, maka tegangan-tekan yang bekerja dalam tiang adalah:

$$\sigma_d = \frac{400\ \text{kN}}{625\ \text{cm}^2} = \ldots .$$

$$\sigma_d < \bar{\sigma}\ ?$$

   Apakah $\sigma_d < \bar{\sigma}$? Jikalau memang demikian mengapa masih dibutuhkan tulang ?
3. Dapatkah anda menerangkan mengapa waktu sedang memancang, tegangan-tarik dan tegangan-tekan yang bekerja secara bergantian, tidak dapat diabaikan begitu saja?
4. Dalam tiang dipasang 12 buah batang dengan ϕ14 mm lukiskanlah dalam penampang bagaimana letaknya tulang-tulang ini.



Gambar 9-27.

9.2.3. *Tegangan-tekuk.*

Pada beban terpusat (= sentris) dan dengan apa yang dinamakan penulangan 1% (*$A_{baja} = 1\% A_{beton}$*) terdapat:

$$F = \bar{\sigma}_k \cdot A_{beton} = \bar{\sigma}_k \cdot ht \cdot b$$

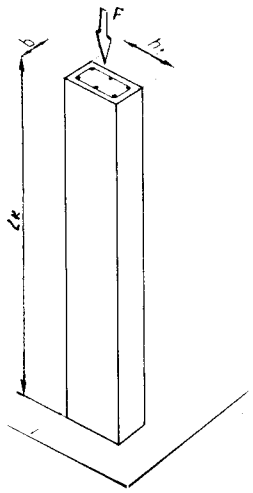
Lihat juga gambar 9.28.

$\bar{\sigma}_k$ tergantung dari perbandingan $\frac{lk}{b}$ menurut grafik dari gambar 9.29 Penulangan harus terbagi rata sepanjang keliling. Sengkang digunakan dengan ϕ 8 dengan jarak dari sumbu ke sumbu = 16 x ϕ dari batang tulang-pokok, lihatlah VB 1972 untuk penutupan-beton (= Peraturan tentang beton bertulang).

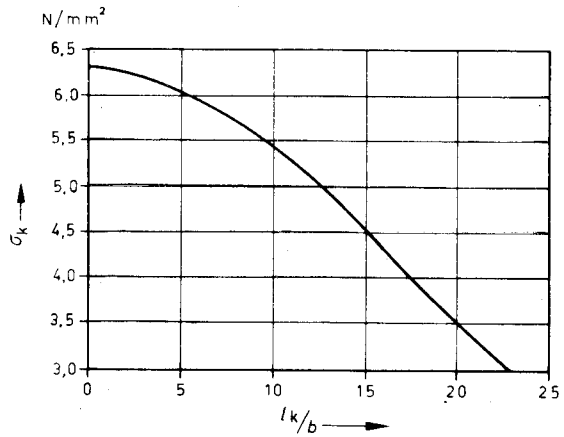
TUGAS 4

Hitunglah tegangan-tekuk yang diizinkan dalam N/mm² untuk sebuah

kolom dengan ukuran-panjang tekukan *lk sebesar 3,60 m dan ukuran-lebar dari 24 cm.*



Gambar 9-28.



Gambar 9-29.

TUGAS 5.

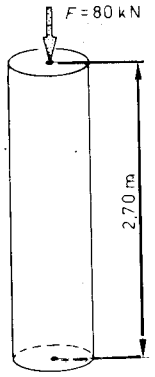
Hitunglah ukuran-panjang tekukan dari suatu kolom yang masih diizinkan, bila kita ingin melaksanakan tegangan-tekuk yang diizinkan sebesar 5,0 N/mm² dan ukuran-lebar kolom sama dengan 30 cm.

TUGAS 6

Hitunglah ukuran-lebar minimum dari suatu kolom dengan ukuran-panjang-tekuk sebesar 4,20 m dan tegangan-tekuk yang diizinkan dari 4,5 N/mm².

TUGAS 7

Rancangkanlah sebuah kolom-beton bertulang yang bulat dengan penulangan 1% untuk suatu gaya-tekan terpusat dari 80 kN, bila *lk* = 270 cm (gambar 9.30). Lukiskanlah penampangnya.



Gambar 9-30.

9.3. Elastisitas.

$E_{baja} = 210 \cdot 10^3$ N/mm².

Modulus-elastisitas dari beton, beragam menurut kwalita dan usia. Hukum Hooke hanya berlaku untuk tegangan yang sangat rendah. Pada halaman 36 ditulis untuk *E:*

$$E = \frac{\sigma_d}{\epsilon} \qquad \epsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Jikalau untuk *E* diisi:

$$E = \sigma_d \cdot \frac{l}{\Delta l}$$

TUGAS 8

Diketahui: Sebuah kolom beton bertulang mempunyai ukuran-panjang sebesar 3.000 mm, tegangan dalam beton adalah 4 N/mm². Modulus-elastisitas dari beton, ditetapkan pada $14 \cdot 10^3$ N/mm².
Ditanyakan: Hitunglah perubahan ukuran-panjang Δl dari beton.

TUGAS 9

Diketahui: Tegangan dalam penulangan kolom dari tugas 8 adalah 60 N/mm². Modulus-elastisitas dari baja sama dengan $210 \cdot 10^3$ N/mm².
Ditanyakan: Hitunglah perubahan ukuran-panjang Δl dari baja.
Modulus-elastisitas dari beton tidak tetap. Dahulu dipertahankan, bahwa

perbandingan $\frac{E_{baja}}{E_{beton}} = 15$

Akan tetapi dewasa ini, dalam peraturan beton bertulang VB 1972 untuk tiap kwalita-beton yang ditetapkan, harus juga dicantumkan modulus-elastisitas yang bersangkutan (lihat tabel 9.1).

Tabel 9.1. Modulus-elastisitas untuk beton.

kwalita beton	modulus-elastisitas E'_b
B 125	21 500
B 175	25 000
B 225	28 000
B 300	30 500
B 375	32 500
B 450	34 000
B 525	35 500
B 600	37 000

9.4. Pemuaian.

Untuk keperluan ini, lihatlah halaman ..... (50)
Kofisen-muai panjang dari baja adalah: $\alpha_{baja} = 12 \cdot 10^{-6}$ /°C
Kofisen-muai panjang dari beton adalah: $\alpha_{beton} = 11 \cdot 10^{-6}$ /°C
Perbedaan ini adalah kecil.

SOAL

Apakah sebabnya hal ini menyenangkan?

TUGAS 10

Diketahui: Ukuran-panjang sebuah kolom adalah 2,50 m. Kofisen-muai panjang dari beton, $\alpha_{beton} = 11 \cdot 10^{-6}$ /°C
Perbedaan-suhu adalah 40°C.

Ditanyakan: Perubahan ukuran-panjang Δl dari kolom.

Jawaban: Δl = ... x .... x .... = ... mm.

TUGAS 11

Diketahui: Ukuran-panjang dari batang penulangan dalam suatu kolom-beton adalah 2,50 m. Kofisen-muai panjang $\alpha_{\text{baja}} = 12 \cdot 10^{-6}$ /°C.
Perbedaan-suhu adalah 40°C.
Ditanyakan: Perubahan ukuran-panjang Δl /dari batang penulang.
Jawaban: $\Delta l = \ldots . \times \ldots . \times \ldots . = \ldots .$ mm.

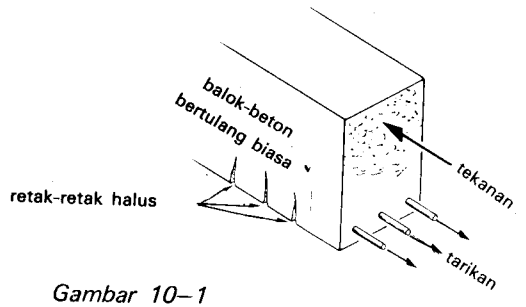
10. BETON PRA-TEKAN

10.1. Bahan; tegangan yang diizinkan.

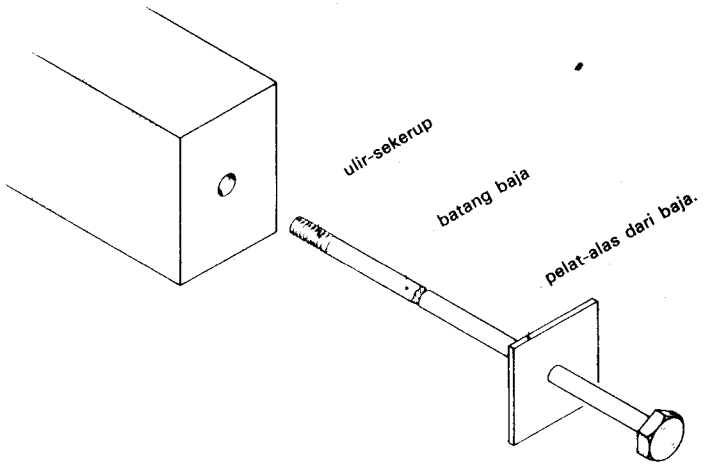
1. Sama halnya dengan beton bertulang, beton pra-tekan adalah juga kombinasi antara beton dan baja.
2. Kwalita dari beton yang dipakai dan dari baja, adalah lebih baik daripada beton bertulang "normal".
   Untuk beton pra-tekan: $\bar{\sigma}_{\text{beton}} = 12$ N/mm²
   $\bar{\sigma}_{\text{baja pra-tekan}} = 1.200$ N/mm²
   Untuk beton bertulang:
   $\bar{\sigma}_{\text{beton}} = 7{,}5$ N/mm²
   $\bar{\sigma}_{\text{baja beton}} = 140$ N/mm²

10.2. Prinsip dari peralihan-gaya.

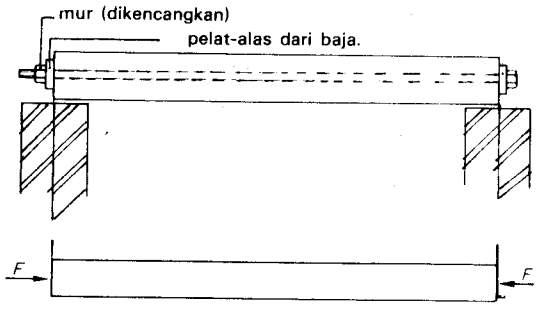
Kekurangan dari beton bertulang adalah, bahwa hanya sebagian kecil dari beton yang berguna, sehingga pada kenyataannya bahan tidak terpakai secara ekonomis. Pada beton pra-tekan tidak terdapat kekurangan ini. Hanya bagian balok yang digaris-titik pada gambar 10-1 yang memindahkan tegangan-tekan, yang menyebabkan penggunaan-bahan yang tidak ekonomis. Sungguhpun sudah terdapat penulangan, dalam "daerah-tarik" terjadi juga retak-retak halus, yang tidak membahayakan, akan tetapi kurang menyenangkan (pencernaan baja).



Gambar 10–1



Gambar 10 - 2



Gambar 10-3.

Sebuah balok-beton pra-tekan, pada dasarnya terdiri dari suatu balok-beton dengan saluran yang dirumpangkan di dalamnya. Melalui saluran itu dimasukkan sebatang baja dalam bentuk sejenis "baut panjang" (gambar 10-2).

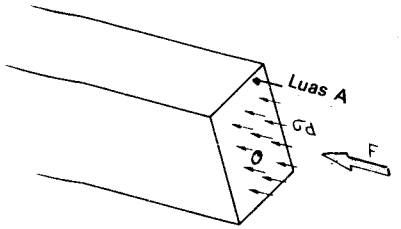
Setelah batang dimasukkan, pada ujung-uliran dikencangkan sebuah mur sampai kuat sekali (gambar 10-3).

Karena itu balok mendapat gaya-tekan F yang tinggal tetap. Jadi dalam penampang-balok terdapat tegangan-tekan yang permanen, sebesar (gambar 10-4):

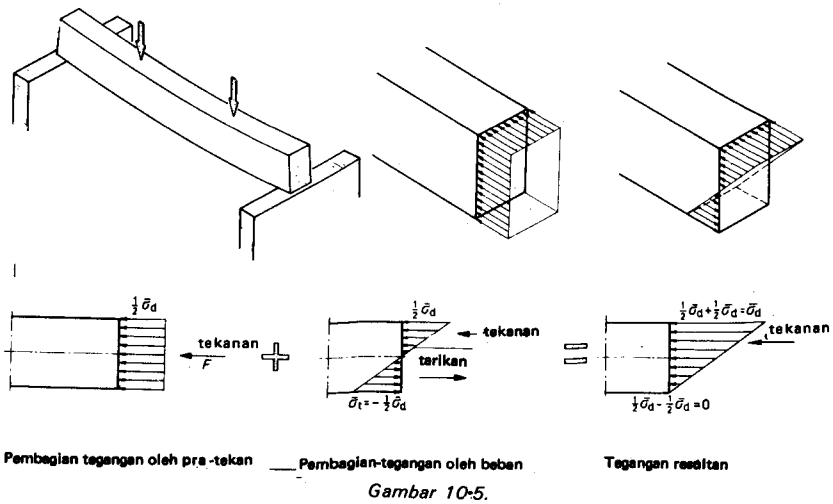
$$\sigma_d = \frac{F}{A}$$

Dalam hal yang demikian, dikatakan bahwa balok berada di bawah pra-tekan. Sebagai akibat dari beban yang harus didukung oleh balok (bobot-diri + beban berguna), dalam balok sebelah bawah akan terjadi tegangan-tarik menurut prinsip yang telah dibahas sebelum ini.

Besarnya pra-tekan itu, sekarang dapat diatur dengan jalan mengencangkan atau mengendurkan mur pada kabel pra-tekan sampai umpamanya dalam balok yang dibebani, tegangan-tarik yang diakibatkan oleh beban, dihilangkan sama sekali oleh tegangan-tekan yang disebabkan oleh gaya pra-tekan (gambar 10-5).



Gambar 10-4.

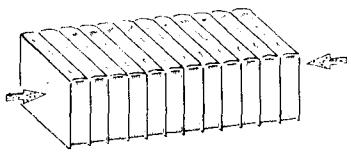


Gambar 10-5.

10.3. Berbagai sistim tentang penjangkaran dan pra-tekan.

Dua buah sistim yang banyak dipergunakan untuk penjangkaran dari baja pra-tekan, diperlihatkan pada gambar 10-7 dan gambar 10-8. Sistim pra-tekan yang dibahas untuk keperluan itu, bila ditinjau secara kilat sesungguhnya adalah memberi tekan-*kemudian*, oleh karena balok baru diberi tegangan, jikalau balok itu telah selesai. Oleh karena itu, beton ini sering juga yang dinamakan beton *"posttensioned"* (diterjemahkan: beton "tekan-kemudian"), yaitu kebalikannya dari beton "pretensioned". Betón pretensioned ini (sering juga dinamakan *beton-dawai*) dibuat sebagai berikut (gambar 10-9).

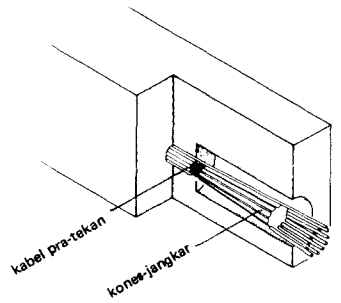
Dalam sebuah pemetian, dipasang kawat-kawat baja halus ("dawai") di bawah tegangan. Spesi-beton dituangkan ke dalam pemetian. Setelah pengerasan beton, pemetian dibongkar dan gaya-peregang dihilangkan dan ujung-ujung kawat dipotong. Dengan demikian tertinggal sebuah balok yang berada di bawah tegangan-tekan permanen, yang disebabkan oleh perlekatan yang kuat antara baja dan beton. Ini juga menjadi alasan, mengapa dipergunakan kabel-kabel yang halus: terhadap penampang baja kita memperoleh suatu bidang-perlekatan yang besar.



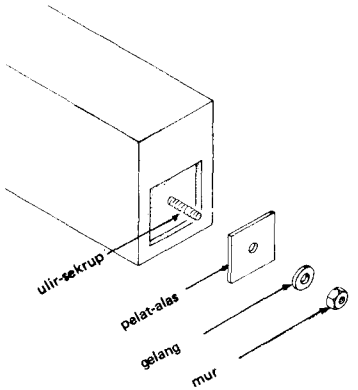
Gambar 10-6.

Jadi sekarang seluruh penampang-beton berguna dan tidak mungkin terjadi retak-retak halus, karena tidak ada lagi daerah-tarikan. Suatu balok yang berada di bawah pra-tekan, dapat dibandingkan dengan suatu deretan buku, yang dapat diangkat, bila kita menekan kepada kedua buah buku yang sebelah luar (gambar 10-6).

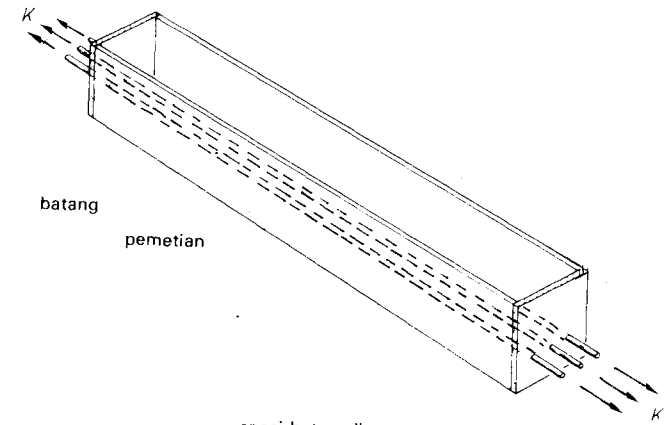
Jikalau tekanan ditiadakan, semua buku akan jatuh; pada bidang-pisah antara tiap buku *dapat* diterima tegangan-tekan, akan tetapi *tidak dapat* menerima tegangan-tarik.

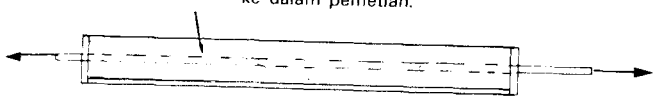


Gambar 10-7.



Gambar 10-8.





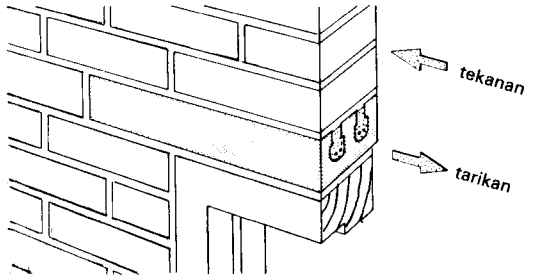
Gambar 10-9.

Suatu contoh yang baik dari "balok beton-dawai", ialah penembokan pra-tekan, yang diperdagangkan dalam jalur-jalur dengan ukuran-panjang sembarangan dan yang banyak dipergunakan untuk bentangan pada lubang dalam dinding (gambar 10-10).

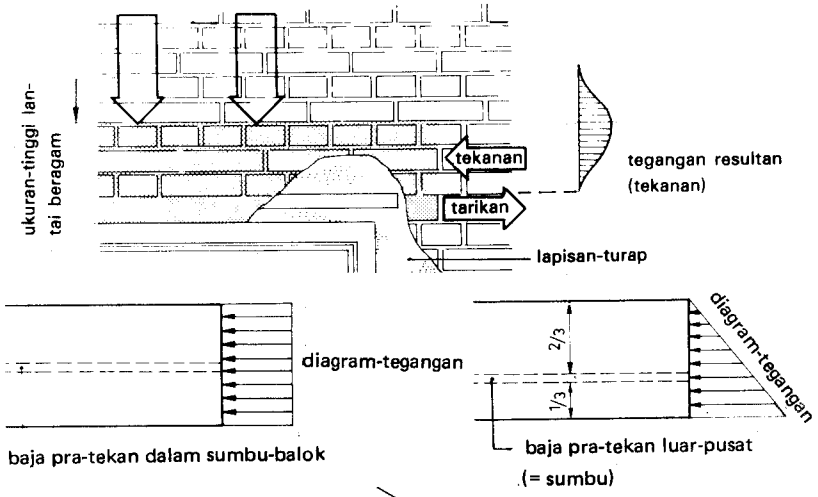
Daerah-tekan dari konstruksi ini masih diperluas dalam pekerjaan oleh penembokan (= metselwerk) yang diselenggarakan. Penembokan ini harus diisi penuh dan dengan banyak spesi.

10.4. Penggunaan-bahan.

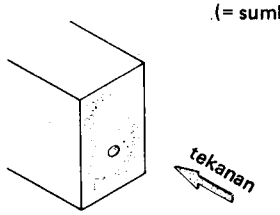
Baja pra-tekan biasanya dipasang dalam balok di sebelah bawah. Dengan demikian pra-tekan terbesar dibangkitkan di tempat, di mana kemudian oleh beban balok terjadi tarikan yang terbesar (gambar 10-11). Lihat juga contoh tentang penembokan pra-tekan. Diagram-tegangan yang terdapat pada halaman 68, sekarang terlihat seperti pada gambar 10-12.

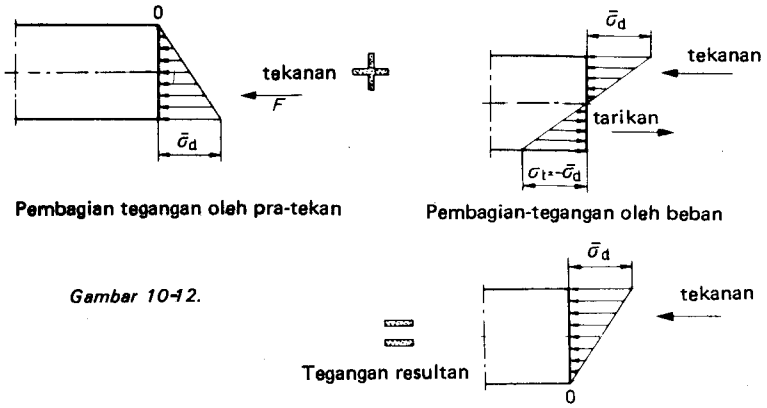


Gambar 10-10.



Gambar 10-11.

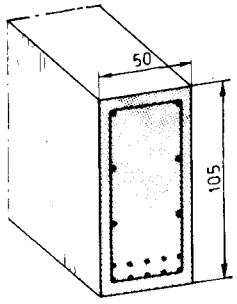




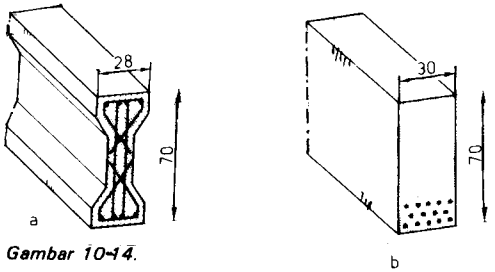
Gambar 10-12.

Karena itu, penggunaan-bahan menjadi lebih sempurna. Itulah sebabnya, konstruksi dalam beton pra-tekan dapat dibuat lebih langsing daripada dalam beton bertulang.

Dalam gambar 10-13 . . . 10-15 diperlihatkan penampang-balok dari balok yang panjangnya 12 m, yang sama kuatnya pada pembebanan-lengkung.

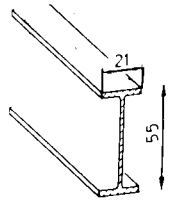


Gambar 10-13.
Beton-bertulang



Gambar 10-14.
Beton pra-tekan

Gambar 10-15.
Profil baja.



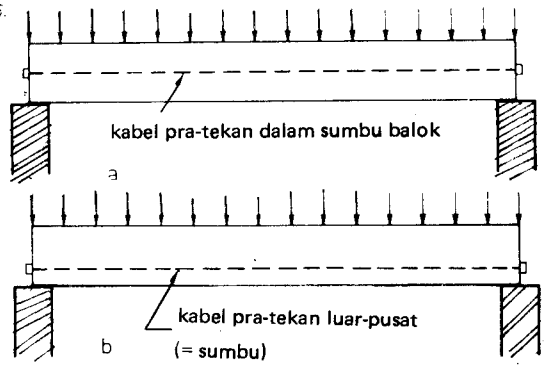
TUGAS 1

Diketahui balok-beton pra-tekan menurut gambar 10-16a dan gambar 10-16b.
Balok yang manakah yang lebih disukai?
Berilah penjelasan terhadap jawaban anda dengan menggunakan gambar-tegangan.

TUGAS 2

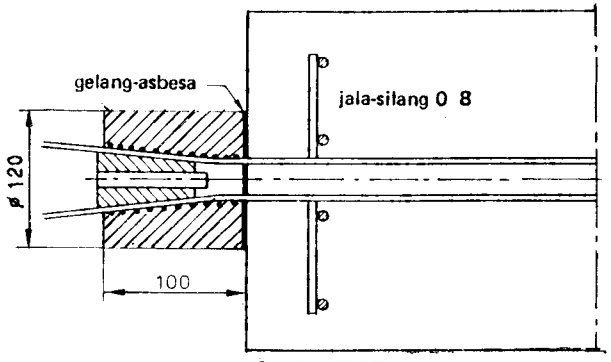
Buatkanlah sketsa prinsip dan berilah penjelasan tentang cara-kerja dari "pra-tekan" pada balok-beton bertulang pra-tekan.

Gambar 10-16.



TUGAS 3

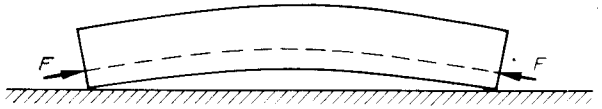
Apakah akibatnya jikalau kabel pra-tekan selip sepanjang konis-jangkar?



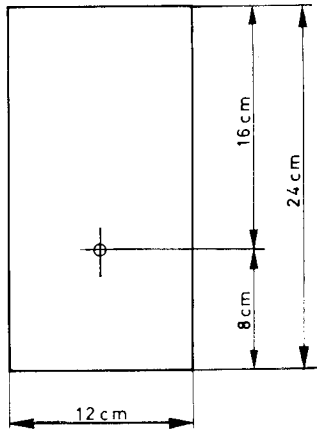
Gambar 10-17.

TUGAS 4

Sebuah balok beton-dawai dipasang pada suatu balok pra-tekan. Kabel dipasang luar-pusat (= eksentris) (di bawah pusat). Setelah pengerasan beton, kabel digunting. Balok sekarang memperlihatkan apa yang dinamakan "punggung-kucing" (gambar 10-18). Apakah sebabnya demikian?



Gambar 10-18.



Gambar 10-19.

TUGAS 5

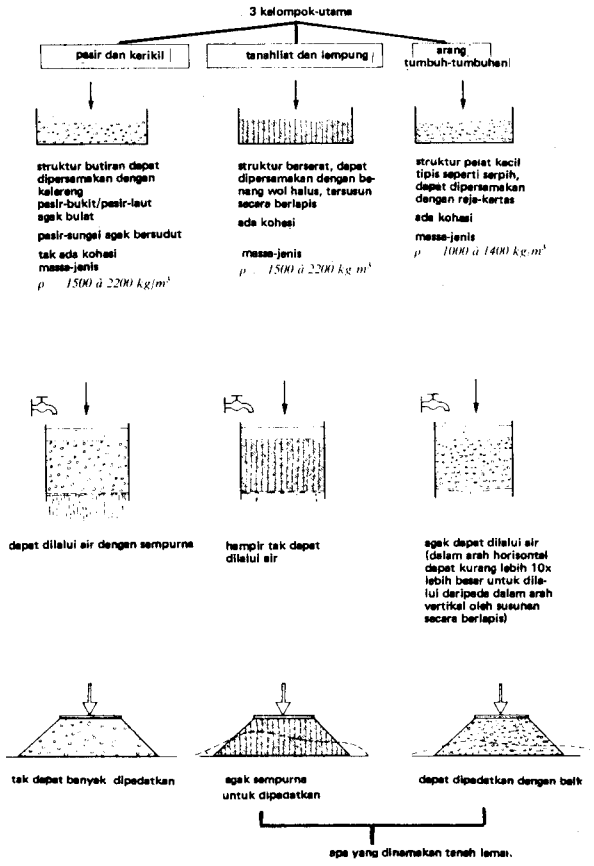
Hitunglah besar maksimum dari gaya pra-tekan untuk penampang yang dilukiskan dalam gambar 10-19.

Hitunglah jumlah kawat pra-tekan yang dibutuhkan dari ϕ 4 mm yang harus dipasang dalam bumbung-kabel.

11. TANAH

11.1. Jenis-tanah; massa-jenis.

Lihatlah gambar 11-1.



Gambar 11-1.

11.2. Tegangan; pemboran tanah dan sondasi.

Dengan jalan pemboran atau dengan jalan menggali lubang, kita memeriksa jenis tanah yang mana terdapat pada kedalaman tertentu.

Pada pelaksanaan sondasi (= sondering) diukur gaya *F*, yang dibutuhkan untuk menekan sebuah kerucut (kones) dengan bidang-alas A ke dalam tanah (gambar 11-2). *F* itu akan beragam menurut jenis-tanah.

Tegangan: $\sigma_s = \frac{F}{A}$ dinamakan *hambatan-kones* atau *hambatan-sondasi* dari tanah.

Hasil dari suatu pemboran-tanah dan dari suatu sondasi, akan terlihat seperti dalam gambar 11-3 dan 11-4.

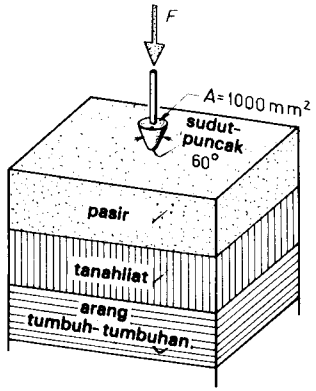
Dengan memperhatikan kofisen-keamanan tertentu, dari daftar-pemboran dan dari sondasi dapat ditentukan berapa besarnya tegangan-tekan yang diizinkan dalam tanah pada kedalaman tertentu. Kofisen-keamanan ini beragam antara 20 dan 3.

TUGAS 1

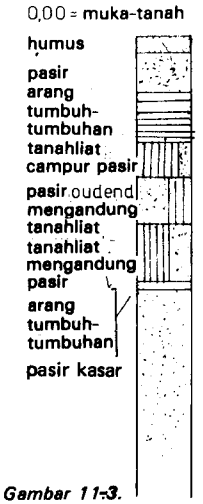
Diketahui: Pada kones dari sebuah aparat-sondasi dilakukan gaya $F = 12$ kN. Luas kones adalah $A = 1.000$ mm².

Ditanyakan: Hitunglah tegangan dalam tanah di bawah kones dari aparat-sondasi.

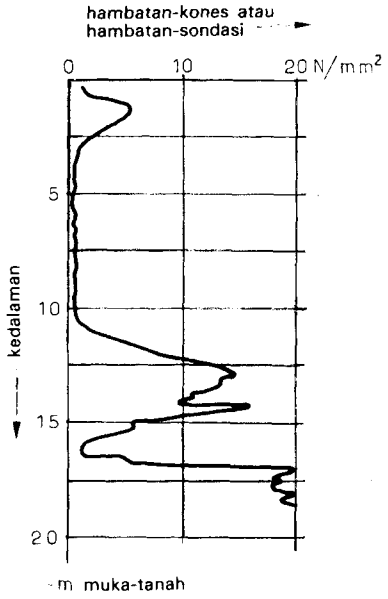
Jawaban : $\sigma = \frac{\ldots\ldots}{\ldots\ldots} = \ldots$ N/mm²



Gambar 11-2.



Gambar 11-3.



Gambar 11-4.

TUGAS 2

Diketahui: Pada kedalaman 2 à 6 m di bawah muka-tanah, harus dilakukan gaya sebesar 16 kN untuk menekan kones dari aparat-sondasi ke dalam tanah.

A kones = 1.000 mm².

Ditanyakan: Hitunglah tegangan-tekan $\bar{\sigma}_g$ yang diizinkan, bila dipertahankan kofisen-keamanan sebesar 8.

TUGAS 3

Tentukanlah dengan bantuan gambar 11-4, pada kedalaman berapakah didapatkan hambatan-sondasi sebesar 10 N/mm².

11.3. Daerah-tegangan.

Sebuah pelat bujur-sangkar dengan luas $A = b^2$ dibebani oleh suatu gaya F (gambar 11-5).

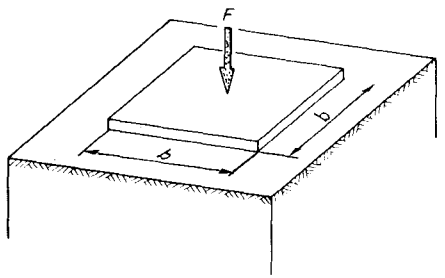
Dalam paket-tanah di bawah pelat karena itu terjadi tegangan tanah σ_g.

Langsung di bawah pelat $\sigma_g = \frac{F}{A}$

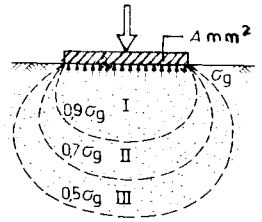
Lapisan yang terletak lebih dalam, mengalami pengaruh lebih kecil dari beban F daripada lapisan yang berada langsung di bawah pelat, yaitu yang disebabkan oleh penyebaran-tegangan dalam tanah.

Dengan pengukuran-tegangan, kita dapat menentukan di tempat yang mana tegangan-tanah umpamanya hanya tinggal 0,9 σ_g, 0,7 σ_g, 0,5 σ_g dan seterusnya.

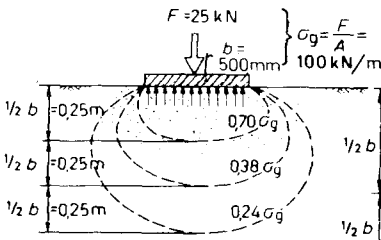
Dalam daerah I (gambar 11-6), tegangan-tanah berada antara 1,0 dan 0,9 σ_g ; dalam daerah II antara 0,9 dan 0,7 σ_g, dan seterusnya. Daerah I, II dan sebagainya dinamakan "daerah-tegangan".



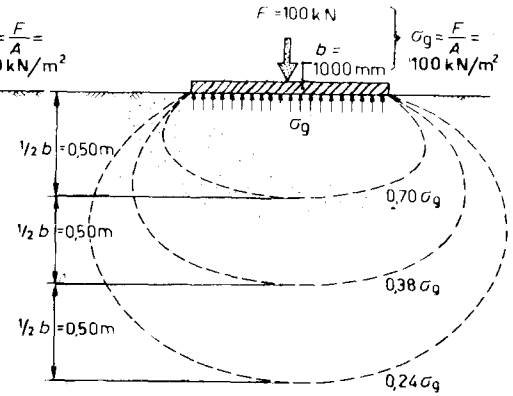
Gambar 11-5.



Gambar 11-6.



Gambar 11-7a.



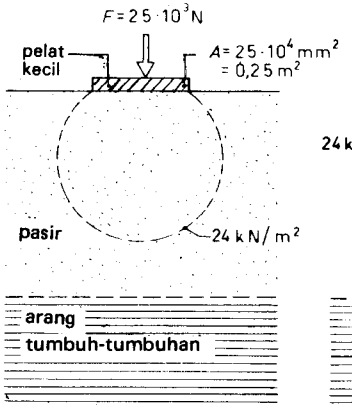
Gambar 11-8a.

CONTOH 1

Pelat-pelat bujur-sangkar. Bandingkanlah gambar 11-7 dan 11-8. Tegangan-tanah langsung di bawah pelat, sama besar dalam kedua hal. Akan tetapi untuk pelat yang kecil pada kedalaman 0,75 m, tegangan telah berkurang dari 100 kN/m² menjadi 24 kN/m².

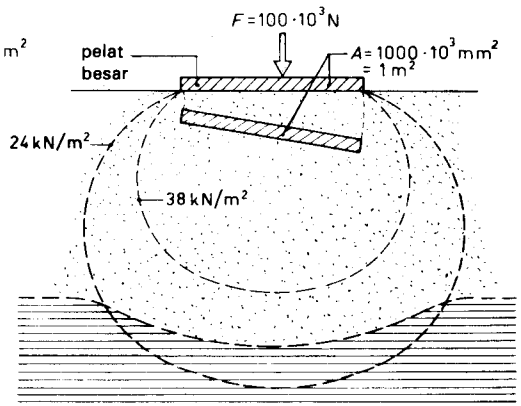
Akan tetapi untuk pelat yang besar, tegangan pada kedalaman 0,75 m masih kurang lebih 55 kN/m² dan baru pada kedalaman 1,50 m tegangan berkurang menjadi 24 kN/mm².

Prinsip ini dapat membawa akibat yang luas. Umpamakanlah, bahwa pada kedalaman 1,00 m terdapat suatu lapisan arang tumbuh-tumbuhan yang hanya dapat menerima tegangan-tanah sebesar 24 kN/m² (gambar 11-8a dan 11-8b).



Lapisan arang tumbuh-tumbuhan tidak "merasakan" beban itu, oleh karena daerah-tegangan dari 24 kN/m² tidak menyinggung lapisan arang tumbuh-tumbuhan.

Gambar 11.7b.



Pelat terbenam karena lapisan arang tumbuh-tumbuhan dibebani terlampau berat kira-kira 1½ x. Daerah-tegangan dari 24.10^3 N/mm² mencapai sampai jauh ke dalam lapisan arang tumbuh-tumbuhan.

Gambar 11-8b.

CONTOH 2

Sebuah balok lebih baik ditahan oleh sejumlah besar titik-tumpuan yang kecil, daripada oleh sejumlah kecil titik-tumpuan yang besar (gambar 11-9 dan 11-10). Akan tetapi lihatlah juga contoh 3.

CONTOH 3

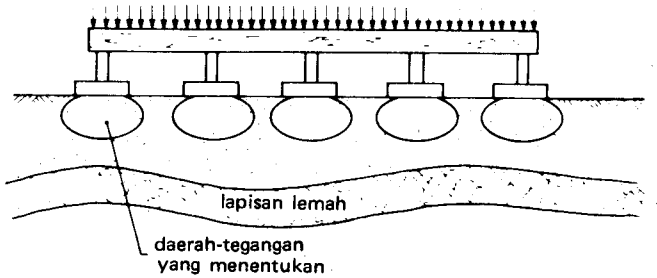
Lihatlah gambar 11-11.

Umpamakanlah, bahwa tegangan dari $\sigma_g > 20$ kN/m² tidak dapat diizinkan untuk suatu lapisan yang lemah.

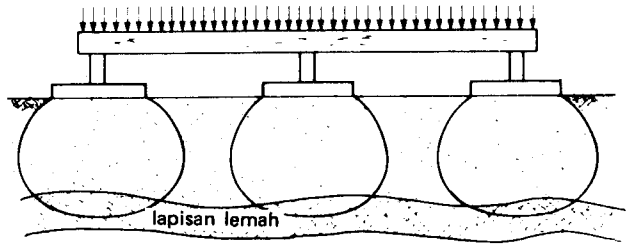
Dalam keadaan fondasi *tidak* "merasakan" lapisan lemah, dalam keadaan 2 fondasi *ada* merasakannya. Dalam keadaan 3, fondasi yang terpisah a, b dan c tidak akan merasakan lapisan lemah, akan tetapi berdiri demikian dekatnya terhadap satu sama lain, sehingga daerah-tegangan dari $\sigma_g = 20$ kN/m² saling berimpitan dan ketiga fondasi a, b dan c merupakan satu daerah-tegangan yang besar, di mana garis-tegangan dari 20 kN/m² dapat sampai ke dalam lapisan lemah.

CONTOH 4

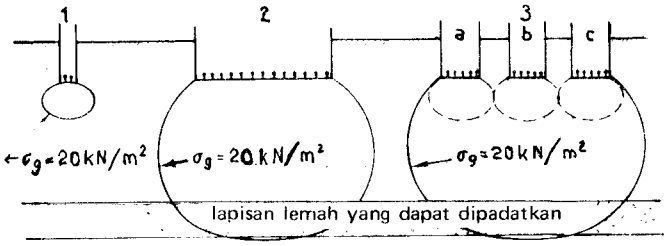
Umpamakan, bahwa satu tiang-pancang dapat mendukung 500 kN. Diperkirakan, bahwa umpamanya tiga buah tiang-pancang secara bersama-sama dapat mendukung 1.500 kN. Akan tetapi hal ini tidak selalu terjadi demikian. Daya-dukung dari ketiga tiang itu secara bergabung, tergantung dari jarak antara tiang satu dengan lain dan dari cara pembuatan dasarnya (Jelaskanlah hal ini untuk anda sendiri dengan menggunakan contoh 3).



Gambar 11-9.



Gambar 11-10.



Gambar 11-11.

Bagaimanakah cara mengetahui ukuran besar tegangan pada kedalaman tertentu? Dengan perkataan lain, bagaimanakah dapat melukiskan secara konkrit daerah-tegangan?

Untuk keperluan tersebut dapat dipergunakan grafik dari gambar 11-12 dan 11-13.

Dalam grafik ini, diperlihatkan untuk empat keadaan terpenting nilai dari tegangan-tanah pada berbagai kedalaman di bawah bidang-fondasi.

TUGAS 4

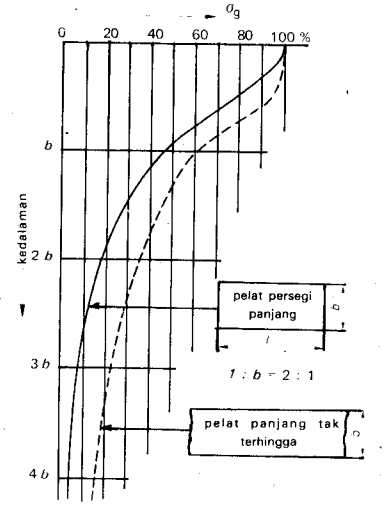
Diketahui: Di atas sebuah pelat bujur-sangkar yang lebarnya 800 mm, bekerja suatu gaya sebesar 80 kN.

Ditanyakan: Hitunglah tegangan σ_g di bawah pelat pada kedalaman 0,40 m, pada kedalaman 0,80 dan pada kedalaman 1,20 m di bawah pelat, sebagai akibat dari gaya.

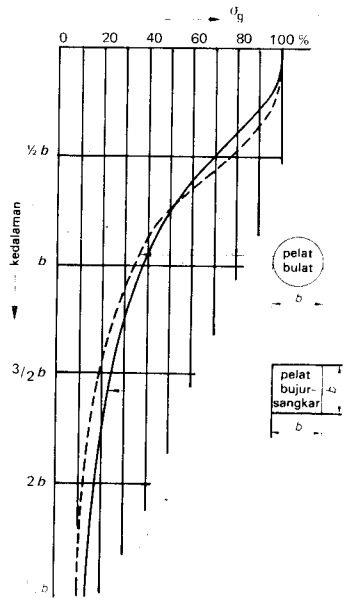
TUGAS 5

Diketahui: Di atas sebuah pelat bujur-sangkar yang lebarnya 600 mm, bekerja suatu gaya sebesar 72 kN.

Ditanyakan: Hitunglah pada kedalaman berapakah di bawah pelat, tegangan $\sigma_g = 0{,}1$ N/mm², sebagai akibat dari gaya.



Gambar 11-12.



Gambar 11-13

CONTOH 5

Diketahui: Lihat gambar 11-14.

Ditanyakan:

1. Tentukanlah peningkatan-tegangan, yang disebabkan oleh konstruksi yang dilukiskan, masing-masing pada 1,00 dan 2,75 m di bawah muka-bumi (= muka tanah) (m.b).
2. Tentukanlah juga jumlah tegangan dalam titik P (di tengah di bawah fondasi dan 2,75 di bawah muka-bumi). Massa-jenis dari tanah boleh diumpamakan 200 kg/m².

Jawaban:

1. Langsung di bawah pelat-fondasi, peningkatan-tegangan adalah:

$$\sigma_g = \frac{F}{A} = \frac{200\ \text{kN}}{1 : 1\ \text{m}^2} = 200\ \text{kN/m}^2$$

1 m di bawah muka-bumi (m.b) sesuai dengan 0,25 m = $\frac{1}{4}\ b$ di bawah pelat-fondasi. Menurut grafik dari gambar 11-3, peningkatan-tegangan di sana masih 95% dari σ_g.

Jadi:

Peningkatan-tegangan $\sigma_g' = 0{,}95 \times 200\ \text{kN/m}^2 = 190\ \text{kN/m}^2$

2,75 m di bawah muka-bumi (m.b) sesuai dengan 2 m di bawah pelat = 2 *b* di bawah pelat. Jadi menurut grafik: peningkatan-tegangan $\sigma_g'' = 0{,}18 \times 200\ \text{kN/m}^2 = 36\ \text{kN/m}^2$.

2. Jumlah tegangan dalam P = tegangan asal yang disebabkan oleh bobot dari tanah sendiri + peningkatan-tegangan oleh fondasi.

Suatu kolom-tanah yang tingginya 2,75 m, memberikan tegangan asal sebesar:

$$\sigma_{asal} = p \,.\, g \,.\, h = 2.000\ \text{kg/m}^3 \times 10\ \text{m/det}^2 \times 2{,}75\ \text{m}$$
$$= 20\ \text{kN/m}^3 \times 2{,}75\ \text{m} = 55\ \text{kN/m}^2$$

Oleh fondasi dihasilkan: $\sigma_g'' = 36\ \text{kN/m}^2$

σ jumlah dalam P $= 91\ \text{kN/m}^2$

TUGAS 6

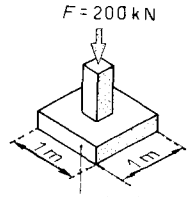
Diketahui: Sebuah pelat-beton bertulang bujur-sangkar dengan ukuran 800 mm x 800 mm, terletak di atas tanah-pasir yang homogen dan mendukung suatu beban terpusat (= sentris) sebesar 60 kN (gambar 11-15). Pada kedalaman berapakah di bawah pelat, tegangan tanah kurang dari 40 kN/m²? Yang ditanyakan hanya peningkatan-tegangan sebagai akibat dari beban.

TUGAS 7

Diketahui: Di atas sebuah pelat-beton bertulang yang bulat dengan garis-tengah 500 mm, bekerja beban sebesar 45 kN.

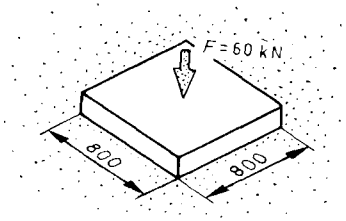
Ditanyakan: Pada kedalaman berapakah di bawah pelat, tegangan tanah sama dengan 60 kN/m²?

Yang ditanyakan hanya peningkatan-tegangan sebagai akibat dari beban.

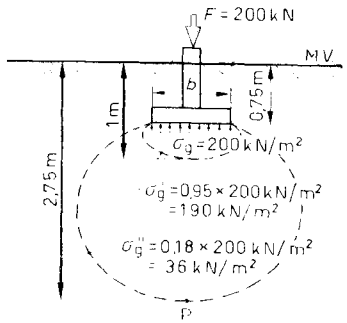


pelat-fondasi bujur-sangkar

Gambar 11-14



Gambar 11-15



TUGAS 8

Diketahui: Di atas sebuah pelat persegi panjang dari 600 mm x 1.200 mm bekerja beban sebesar 90 kN.

Ditanyakan: Pada kedalaman berapakah di bawah pelat, tegangan-tanah sama dengan 50 kN/m².

Yang ditanyakan hanya peningkatan-tegangan sebagai akibat dari beban.

TUGAS 9

Diketahui: Di atas sebuah pelat panjang dengan ukuran-lebar 1.000 mm, pada tiap meter-jalan bekerja suatu beban sebesar 80 kN.

Ditanyakan: Pada kedalaman berapakah di bawah pelat, tegangan-tanah sama dengan 60 kN/m²?
Yang ditanyakan hanya peningkatan-tegangan sebagai akibat dari beban.

11.4. Pengeraman (= zetting).

Sebagai akibat dari beban fondasi, tegangan di atas lapisan arang tumbuh-tumbuhan (veenlaag) pada gambar 11-16 meningkat dari σ_o menjadi σ_n. σ_o adalah tegangan-tanah asal yang terdapat di atas lapisan arang tumbuh-tumbuhan (= veenlaag), sebagai akibat dari lapisan-tanah yang ter letak di atasnya; σ_n adalah tegangan yang baru di atas lapisan arang tumbuh-tumbuhan dan dapat ditentukan dari grafik pada gambar 11-12 dan 11-13. Oleh peningkatan tegangan di atas lapisan arang tumbuh-tumbuhan, lapisan itu sedikit dipadatkan dan fondasi akan turun sedikit atau mengeram (gambar 11-17).
Besarnya pengeraman Z itu adalah :

$$Z = \frac{d}{c} \log \frac{\sigma_n}{\sigma_o}$$

Di sini adalah:

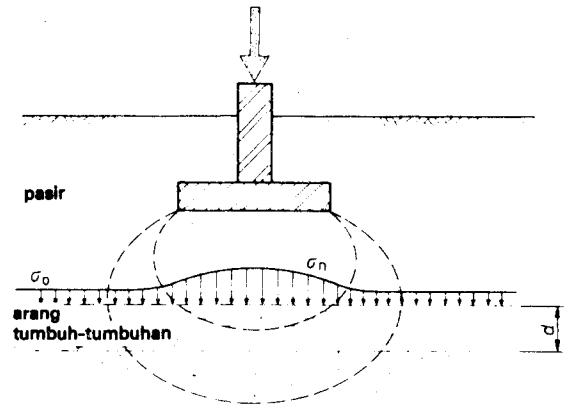
Z = pengeraman;
d = ukuran-tebal lapisan yang dapat dipadat, yaitu lapisan arang tumbuh-tumbuhan;
σ = tegangan;
c = tetapan (konstanta), yang tergantung dari jenis-tanah.

Pada ukuran tebal yang besar, lapisan yang dapat dipadat itu harus dibagi dalam jalur-jalur tipis, oleh karena σ_n dan σ_o tidak tetap dengan kedalaman (lihat grafik pada halaman .... [77]).
Secara global:
C_{pasir} = 20 sampai 180;
$C_{tanahliat}$ = 4 sampai 20;
$C_{arang\ tumbuh\text{-}tumbuhan}$ = 0,8 sampai 4.

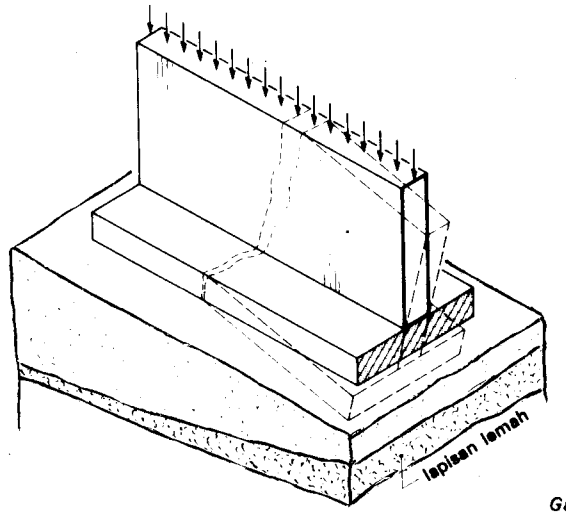
Catatan: pengeraman secara demikian biasanya tidak memberatkan, akan tetapi yang memberatkan ialah pengeraman yang tidak merata.

Dalam rumus sebelum ini telah disebut tentang logaritma. Untuk kebanyakan orang, pengertian ini masih merupakan suatu pengertian yang baru.

Dalam bab 5 telah dibahas tentang eksponen positif dan eksponen negatif.
Persoalan di sini adalah mengenai pangkat dari bilangan-dasar 10.



Gambar 11-16.



Gambar 11-17.

$100 = 10^2$

Dalam hal ini dapat juga dikatakan: "Logaritma dari 100 adalah 2".
Logaritma 10 atau disingkat log dari suatu bilangan, sekarang adalah

pangkat untuk meningkatkan bilangan-dasar 10, guna memperoleh bilangan yang diketahui.
Dengan demikian:
log 1.000 = 3, karena $10^3 = 1.000$
log 10.000 = 4, karena $10^4 = 10.000$
log 100.000 = 5, karena $10^5 = 100.000$
log 1000.000 = 6, karena $10^6 = 1000.000$

Perhatikanlah: jikalau suatu bilangan menjadi sepuluh kali lebih besar, logaritma meningkat dengan 1.

log 100 = 2, karena $10^2 = 100$
log 10 = 1, karena $10^1 = 10$
log 1 = 0, karena $10^0 = 1$
log 0,1 = − 1
log 0,01 = − 2
log 0,001 = − 3, dan seterusnya.

Perhatikanlah: jikalau suatu bilangan menjadi 10 kali lebih kecil, logaritma menurut dengan 1.

Yang semakin menyulitkan ialah, untuk menentukan logaritma dari suatu bilangan sembarangan, umpamanya dari 2.
log 2 terletak antara log 1 dan log 10.
Jadi log 2 terletak antara 0 dan 1
log 2 = 0,30 (dibulatkan)
log 20 terletak antara log 10 dan log 100.
log 20 terletak antara 1 dan 2.
karena log 10 = 1 dan log 100 = 2, log 20 = 1,30 (dibulatkan)
Karena 20 sama dengan 2 × 10, maka log 20 bisa juga didapatkan dengan jalan menambahkan saja log 10 kepada log 2.
Jadi log 20 = 0,30 + 1,00 = 1,30
Dengan demikian maka: log 200 = 2,30
log 2000 = 3,30 dan seterusnya.
Logaritma dari 1 ..... 10 secara mendekati adalah sebagai berikut:

log 1 = 0	log 6 = 0,78
log 2 = 0,30	log 7 = 0,85
log 3 = 0,48	log 8 = 0,90
log 4 = 0,60	log 9 = 0,95
log 5 = 0,70	log 10 = 1,00

Logaritma dari bilangan sembarangan dicari dalam tabel-logaritma.
Logaritma dapat juga pada mistar-hitung, yaitu pada skala D dan L.

TUGAS 10

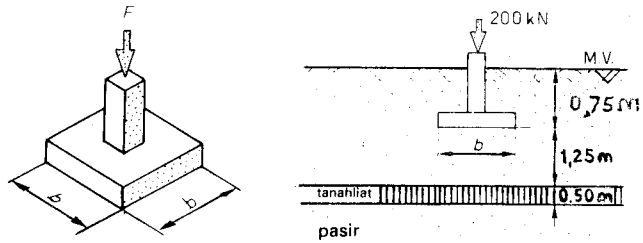
Diketahui: Oleh beban, tekanan di atas suatu lapisan arang tumbuh-tumbuhan (= veen) dari 1 m, menjadi dua kali lebih besar $(\frac{\sigma_n}{\sigma_o} = 2)$.

Sebagai tetapan (= konstanta) berlaku untuk lapisan ini: $c = 2$
Ditanyakan: Tentukanlah pengeraman sebagai akibat dari beban.

TUGAS 11

Diketahui: Oleh beban, tekanan di atas suatu lapisan-tanahliat yang tebalnya 1 meter, menjadi tiga kali lebih besar $(\frac{\sigma_n}{\sigma_o} = 3)$.

Sebagai tetapan berlaku untuk tanahliat ini: $c = 10$
Ditanyakan: Tentukanlah pengeraman (= zetting) sebagai akibat dari beban.



Gambar 11-18.

TUGAS 12

Diketahui: Oleh beban, tekanan di atas suatu lapisan-pasir yang tebalnya 1 meter, menjadi empat kali lebih besar $(\frac{\sigma_n}{\sigma_o} = 4)$.
Sebagai tetapan berlaku untuk pasir ini: $c = 100$.
Ditanyakan: Tentukanlah pengeraman sebagai akibat dari beban.

CONTOH 6

Diketahui: Fondasi (pelat bujur-sangkar) dari gambar 11-18.

Ditanyakan: Tentukanlah ukuran-lebar pemasangan dari fondasi dan selidikilah pengaruh dari lapisan-tanahliat terhadap pengeraman $\bar{\sigma}_g$ di bawah fondasi dapat diumpamakan 0,2 N/mm² dan massa jenis dari pasir pada 2.000 kg/m³. Ambillah $c_{tanahliat} = 10$

Jawaban: $\bar{\sigma}_g = 0{,}2$ N/m²; $A_{fondasi} = b^2 = \dfrac{F}{\sigma_g}$

$b^2 = \dfrac{200 \text{ kN}}{0{,}2 \text{ N/mm}^2} = 1 \text{ m}^2$ $\quad b = \sqrt{1 \text{ m}^2} = 1 \text{ m}$

Beban asal bagian sebelah atas lapisan-tanahliat = σ_o = ukuran-tinggi dari lapisan-pasir $\rho_{pasir} \cdot g$

2 m × 2.000 kg/m³ × 10 m/det² = 2 m × 20 kN/m³ = 40 kN/m²

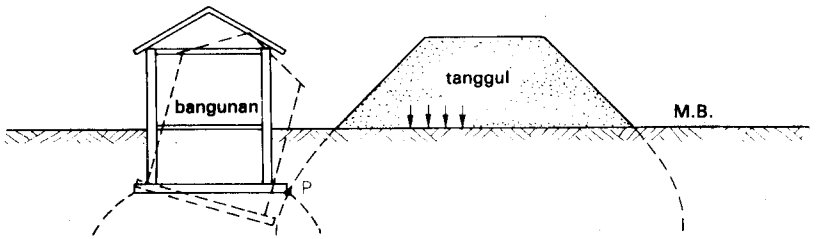
Pada 1,25 m = 1,25 *b* di bawah bagian-bawah fondasi, tekanan-fondasi menurut grafik dari gambar 11-13 menurun sampai 30% dari 200 kN/m² = 0,3 × 200 kN/m² = 60 kN/m²

Karena itu: $\sigma_n = 40 \text{ kN/m}^2 + 60 \text{ kN/m}^2 = 100 \text{ kN/m}^2$

$Z = \dfrac{0{,}5 \text{ m}}{10} \log \dfrac{100 \text{ kN/m}^2}{40 \text{ kN/m}^2} = 0{,}02 \text{ m} \doteq 2{,}0 \text{ cm} = 20 \text{ mm}$

CONTOH 7

Oleh pembuatan sebuah tanggul (gambar 11-19), pada P terjadi peningkatan-tegangan (daerah-tegangan!). Dalam P terjadi tegangan-tanah yang baru, yang lebih besar dari tegangan yang sudah ada. Pada sisi sebelah kanan bangunan dapat terjadi pengeraman yang lebih besar. Bangunan dapat menjadi miring atau retak-retak.



Gambar 11-19.

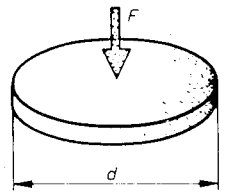
TUGAS 13

Diketahui: Di atas sebuah pelat-beton bertulang yang bulat bekerja suatu gaya F = 150 kN (gambar 11-20). Pelat itu terletak di atas paket-pasir, yaitu 70 cm di bawah m.b. (= muka bumi).

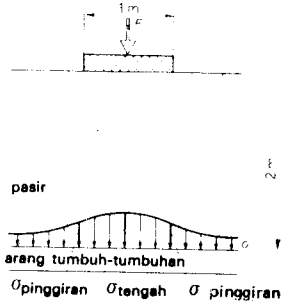
100 cm di bawah pelat terdapat suatu lapisan arang tumbuh-tumbuhan (= veenlaag) yang tebalnya 180 cm (c = 3). Di bawah lapisan arang tumbuh-tumbuhan, terdapat pasir kasar yang padat. Di atas paket-pasir, yaitu langsung di bawah pelat diizinkan tegangan-tanah sebesar 0,1 N/mm².

Ditanyakan:

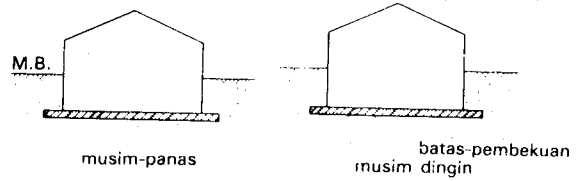
1. garistengah d yang diperlukan dari pelat-beton bertulang;
2. pengeraman yang dialami pelat sebagai akibat dari lapisan arang tumbuh-tumbuhan (= veenlaag).



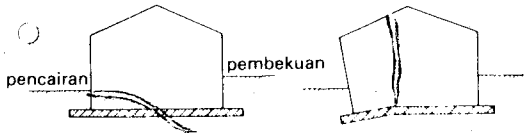
Gambar 11-20.



Gambar 11-21.



seluruh bangunan beserta tanah sedikit naik, karena air memuai waktu pembekuan.



Pada pencairan (es) setempat, batas-pembekuan juga berlangsung miring.

Dalam bagian yang telah mencair (es) fondasi ingin turun kembali.

Gambar 11.22.

TUGAS 14

Diketahui: Sebuah pelat persegi-panjang yang panjang memindahkan beban F kepada tanah landasan (gambar 11-21). Tegangan-tanah langsung di bawah pelat, sebagai akibat dari beban F adalah 0,2 N/mm².
Ditanyakan: Berapakah kira-kira besarnya tegangan di atas lapisan arang tumbuh-tumbuhan (= veen) yang diperlihatkan (σ_{tengah} dan $\sigma_{pinggiran}$)

11.5. Batas-pembekuan.

Juga oleh pengaruh pembekuan dapat terjadi pengeraman yang tidak merata. Oleh karena itu kita harus selalu membuat fondasi di bawah batas-pembekuan. Jadi di Nederland, pada kedalaman 0,6 à 1 m di bawah muka-bumi (m.b.). Lihat juga gambar 11-22.

11.6. Tegangan-tanah yang diizinkan.

Berdasarkan pembahasan sebelum ini, sudah jelas bahwa tidak terdapat nilai tetap untuk $\bar{\sigma}_g$. Tegangan-tanah yang kira-kira dapat diizinkan adalah sebagai berikut:

1. pasir yang diairi 50 kN/m² .... 80 kN/m²;
2. tanah-pasir di atas dasar-lapisan padat 200 kN/m² .... 500 kN/m²;
3. tanah-liat padat di atas pasir 100 kN/m² ... 200 kN/m²;
4. tanah-liat lemah di atas lapisan arang tumbuh-tumbuhan 20 kN/m² .... 70 kN/m²;
5. batu-batuan padat 800 kN/m² .... 2000 kN/m².

Untuk semua pekerjaan yang penting, seharusnya dilakukan pemboran-tanah dan sondasi, guna menetapkan tegangan-tanah yang diizinkan.

11.7. Beban horisontal oleh tanah dan oleh air.

Pada berbagai konstruksi, kita berhubungan dengan gaya-horisontal yang dilakukan oleh tanah (gambar 11-23 .... 11-25).

Besarnya gaya ini, sebagian besar tergantung dari jenis-tanah dan dari air-tanah. Pada umumnya berlaku: arang tumbuh-tumbuhan (= veen) dan tanahliat (tanah lemah) → F besar; pasir dan kersik → F kecil.

11.7.1. *Tegangan-air.*

Dari ilmu-alam telah diketahui, bahwa tegangan-air σ_w pada bidang yang diarsir dari gambar 11-26 adalah:

$$\sigma_w = \rho_w \cdot g \cdot h$$

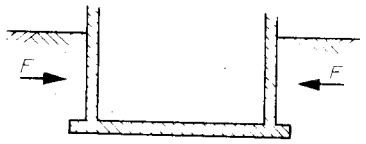
Di sini:

σ_w = tegangan-air,
ρ_w = massa-jenis dari air;
$\rho_{air\text{-}tawar}$ = 1000 kg/m³;
$\rho_{air\text{-}laut}$ = 1025 kg/m³;
g = percepatan dari gaya-berat (= 10 m/det²);
h = jarak (dari titik-berat bidang sampai ke permukaan zat-cair).

TUGAS 15

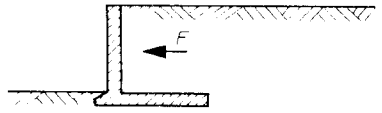
Tentukanlah dalam gambar 11-26, tekanan air pada dinding, jikalau:

- h = 1 m;
- h = 2 m;
- h = 3 m.



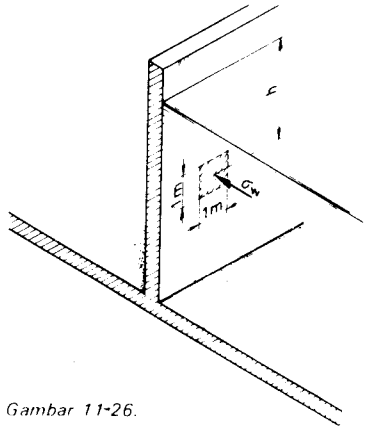
ruang bawah-tanah

Gambar 11-23.

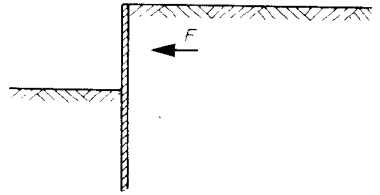


Dinding penahan

Gambar 11-24.



Gambar 11-26.



Ambaru

Gambar 11-25.

CONTOH 8

Diketahui: sebuah pintu-air dalam air-tawar (gambar 11-27).
Ditanyakan: Lukiskanlah jalannya σ_w
Jawaban: Di atas permukaan-air:

$\sigma_w = \rho_w \cdot g \cdot h = \rho_w \cdot g \cdot 0 = 0$

Pada kedalaman 4 m adalah:

$\sigma_w = \rho_{air} \cdot g \cdot 4\ m = 1000\ kg/m^3 \cdot 10\ m/det^2 \cdot 4\ m = 40\ kN/m^2$

Pada kedalaman 6 m adalah:

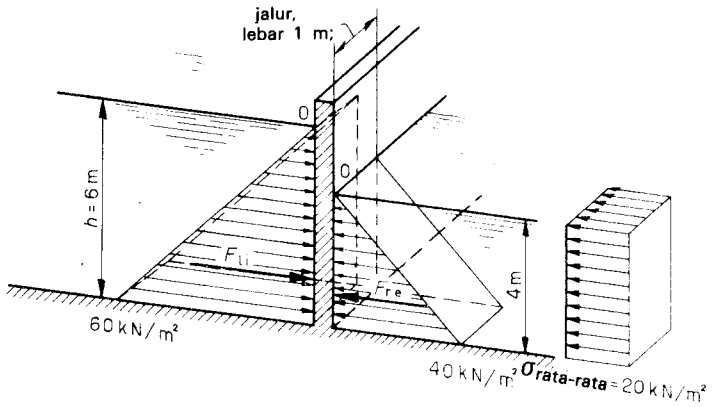
$\sigma_w = \rho_{air} \cdot g \cdot 6\ m = 1000\ kg/m^3 \cdot 10\ m/det^2 \cdot 6\ m = 60\ kN/m^2$

Jadi σ_w meningkat sebanding dengan ukuran-tinggi (lihat gambar 11-27).
Tegangan-air rata-rata di sebelah kanan pintu-air jadi adalah:

$$\frac{0 + 40\ kN/m^2}{2} = 20\ kN/m^2$$

TUGAS 16

Berapakah besarnya tegangan-air rata-rata di sebelah kiri pintu-air dalam gambar 11-27?



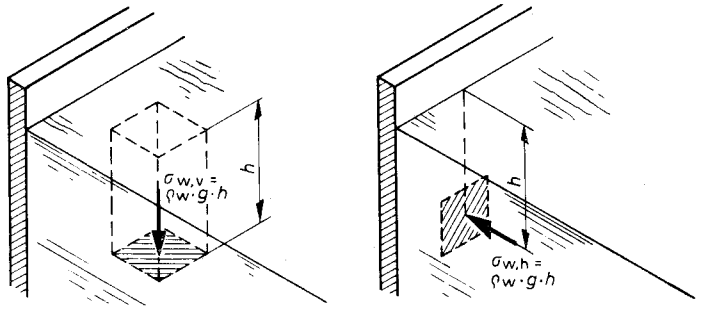
Gambar 11-27.

TUGAS 17

Jikalau sekarang ditinjau suatu jalur yang lebarnya 1 m, maka gaya yang bekerja pada jalur adalah:

kanan: $F_{ka} = \sigma$ rata-rata ka $\cdot h \cdot b$
$= 20\ kN/m^2 \times 4\ m \cdot 1\ m = 80\ kN$

kiri: $F_{ki} = \ldots .$



Gambar 11-28.

SOAL:

1. Berapakah besarnya perbedaan antara kedua gaya $F_{ki} - F_{ka}$?
2. Pada kedalaman berapakah (terhitung dari permukaan-air) gaya F_{ki} menangkap pada pintu-air ?

Jadi pada air, tegangan horisontal pada kedalaman yang sama, sama besar dengan tegangan vertikal.
($\sigma_{w,v} = \sigma_{w,h} = \rho_w \cdot g \cdot h$), lihatlah juga gambar 11-28.

11.7.2. *Tekanan-tanah.*

Pada tanah tegangan vertikal σ_g juga sama dengan massa-jenis dari tanah ρ kali g kali ukuran-tinggi h dari kolom-tanah (gambar 11-29).

Akan tetapi tegangan horisontal σ_g tidak sama dengan tegangan-tanah vertikal. Untuk dapat menentukan tegangan-tanah horisontal ini, dipergunakan pengertian *tegangan-butiran* (= korrelspanning) (gambar 11-29b). Tegangan-butiran $\sigma_{butiran}$ ini adalah tegangan yang dilakukan oleh butiran-tanah pada bidang yang diarsir dan menurut mekanika-tanah jumlahnya ialah:

$\sigma_{butiran,\,h} = \lambda \cdot \sigma_{butiran,\,v}$ atau $\sigma_{butiran,\,h} = \lambda \cdot \rho_g \cdot g \cdot h$

Di sini:

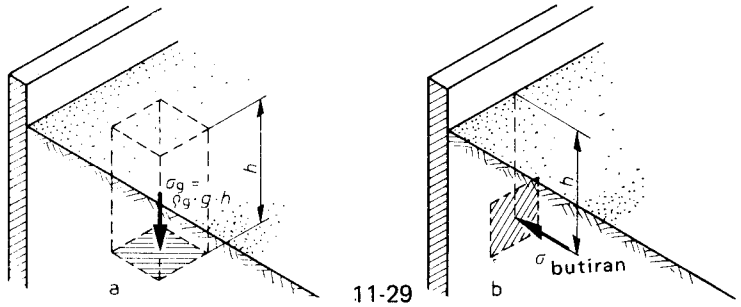
$\sigma_{butiran,\,h}$ = tegangan-butiran horisontal;
$\sigma_{butiran,\,v}$ = tegangan-butiran vertikal;
ρ_g = massa-jenis dari butiran yang bersangkutan;
g = percepatan dari gaya-berat (= 10 m/det²);
h = jarak (dari titik-berat dari bidang sampai ke muka-bumi);
λ = kofisen yang tergantung dari jenis-tanah.

Nilai dari λ terutama tertuju kepada butiran-tanah dan sangat beragam. Pada perhitungan $\sigma_{butiran}$, harus pula dibedakan antara tanah basah dan tanah kering. Juga ukuran-tinggi dari permukaan air-tanah mempunyai pengaruh yang sangat besar.

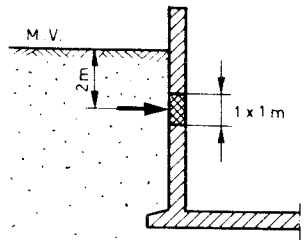
Jadi perhitungan dari tegangan-tanah horisontal tidaklah begitu mudah dan tergantung dari berbagai macam faktor. Yang paling baik ialah untuk menggambarkannya dengan beberapa contoh. Di sini dipergunakan data global dari tabel. 11-1.

Tabel 11.1 Massa-jenis dan faktor λ dari beberapa jenis-tanah

Jenis-tanah	ρ_g		λ
	basah	*kering*	*maks*
	kg/m³	kg/m³	
Kersik	1900	1800	0,3
Pasir	2000	1600	0,4
Arang tumbuh-tumbuhan (= veen)	1400	1100	0,5
Tanahliat	1800	1300	0,7
Air	1000	–	1,0



11-29



Gambar 11-30

CONTOH 9

Lihatlah gambar 11-30. Pasir kering

Vertikal: $\sigma_{butiran,\,v} = \rho_g \,.\, g \,.\, h$

$= 1600 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/det}^2 \times 2 \text{ m} = 32 \text{ kN/m}^2$

Horisontal (= tegangan pada bagian dinding yang diarsir);

$\sigma_{butiran,\,h} = \lambda \,.\, \sigma_{butiran,\,v}$

$= 0{,}4 \times 32 \text{ kN/m}^2 = 12{,}8 \text{ kN/m}^2$

Lihatlah gambar 11-31. Pasir basah (bukan air-tanah)

Vertikal: $\sigma_{butiran,\,v} = \rho_g \,.\, g \,.\, h$

$= 2000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/det}^2 \times 2 \text{ m} = 40 \text{ kN/m}^2$

Horisontal: $\sigma_{butiran,\,h} = \lambda \,.\, \sigma_{butiran,\,v}$

$= 0{,}4 \times 40 \text{ kN/m}^2 = 16 \text{ kN/m}^2$

Lihatlah gambar 11-32. Pasir basah (air-tanah sampai muka-bumi).

Dari Hukum Archimedes dapat dijabar:

$\rho_{semu} = \rho_{pasir\ basah} - \rho_{air}$

$= 2000 \text{ kg/m}^3 - 1000 \text{ kg/m}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$

Vertikal:

$\sigma_{butiran,\,v} = \rho_{semu} \,.\, g \,.\, h$

$= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/det}^2 \times 2 \text{ m} = 20 \text{ kN/m}^2$

Horisontal:

$\sigma_{butiran,\,h} = \lambda \,.\, \sigma_{butiran,\,v}$

$= 0{,}4 \times 20 \text{ kN/m}^2 = 8 \text{ kN/m}^2$

Tegangan pada bagian-dinding yang diarsir sekarang adalah:

8 kN/m² + tekanan-air horisontal =

8 kN/m² + 1000 kg/m³ × 10 m/det² × 2 m =

8 kN/m² + 20 kN/m² = 28 kN/m²

Lihatlah gambar 11-33.

Pasir basah (air-tanah sampai 1 m di bawah muka-bumi).

Vertikal:

$\sigma_{butiran,\,v} = \rho_{pasir\ basah} \cdot g \cdot 1\ m + \rho_{semu} \cdot g \cdot 1\ m$

$= 2000\ kg/m^3 \times 10\ m/det^2 \times 1\ m + 1000\ kg/m^3 \times 10\ m/det^2 \times 1\ m$

$= 20\ kN/m^2 + 10\ kN/m^2 = 30\ kN/m^2$

Horisontal:

$\sigma_{butiran,\,h} = \lambda \cdot \sigma_{butiran,\,v}$

$= 0{,}4 \times 30\ kN/m^2 = 12\ kN/m^2$

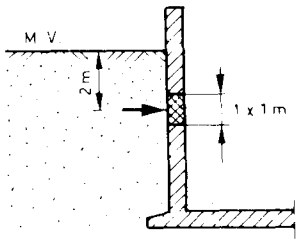
Jumlah tegangan horisontal pada bagian-dinding yang diarsir:

$12\ kN/m^2$ + tekanan-air horisontal =

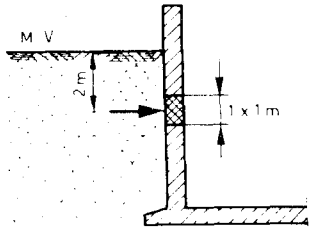
$12\ kN/m^2 + 1000\ kg/m^3 \times 10\ m/det^2 \times 1\ m =$

$12\ kN/m^2 + 10\ kN/m^2 = 22\ kN/m^2$

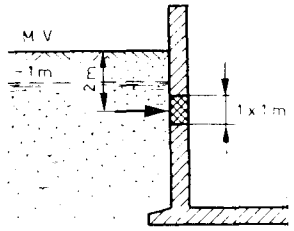
Catatan : Dalam ke empat hal (gambar 11-30 — 11-33) jumlah tekanan-tanah horisontal itu berbeda.



Gambar 11-31



Gambar 11-32



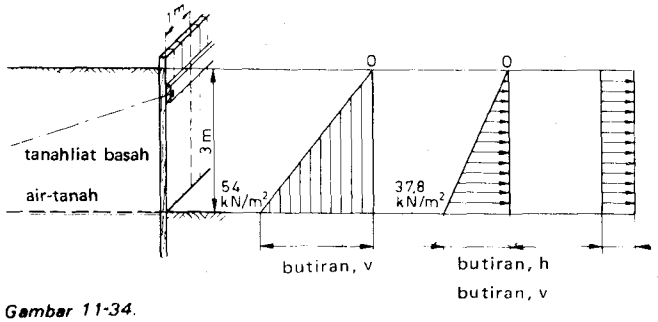
Gambar 11-33

TUGAS 18

Hitunglah tegangan-butiran horisontal pada kedalaman 3 m di bawah muka-bumi, bila jenis-tanah itu:

- tanahliat kering, lihatlah gambar 11-30;
- tanahliat basah (bukan air-tanah), lihatlah gambar 11-31;

- tanahliat basah, dengan air-tanah sampai ke muka-bumi, lihatlah gambar 11-32;
- tanahliat basah, dengan air-tanah 1 m di bawah muka-bumi, lihatlah gambar 11-33.



Gambar 11-34.

$\sigma_{rata\text{-}rata} = \frac{1}{2}\lambda \cdot \sigma_{butiran,\,v} = \frac{1}{2}\lambda \cdot \rho_{tanah\ liat\ basah} \cdot g \cdot h = 18{,}9\ kN/m^2$

CONTOH 10

Lihatlah gambar 11-34.

Pada kedalaman 0 m, gaya horisontal pada dinding-tanggul adalah 0.

Pada kedalaman 3 m adalah:

$\sigma_{butiran,\,v} = \rho_{tanahliat\ basah} \cdot g \cdot h$

$= 1800\ kg/m^3 \times 10\ m/det^2 \times 3\ m = 54\ kN/m^2$

$\sigma_{butiran,\,h} = \lambda \cdot \sigma_{butiran,\,v}$

$= 0{,}7 \times 54\ kN/m^2 = 37{,}8\ kN/m^2$

Pada jalur dari 1 m, jumlah gaya horisontal pada dinding-tanggul adalah:

$F = \frac{1}{2}\lambda\ \rho_{tanahliat\ basah} \cdot g \cdot h \cdot h \cdot 1\ m$

$= \frac{1}{2}\lambda \cdot \rho_{tanahliat\ basah} \cdot g \cdot h^2 \cdot 1\ m$

$= \frac{1}{2} \times 0{,}7 \times 1800\ kg/m^3 \times 10\ m/det^2 \times 3^2\ m^2 \cdot 1\ m = 56{,}7\ kN$

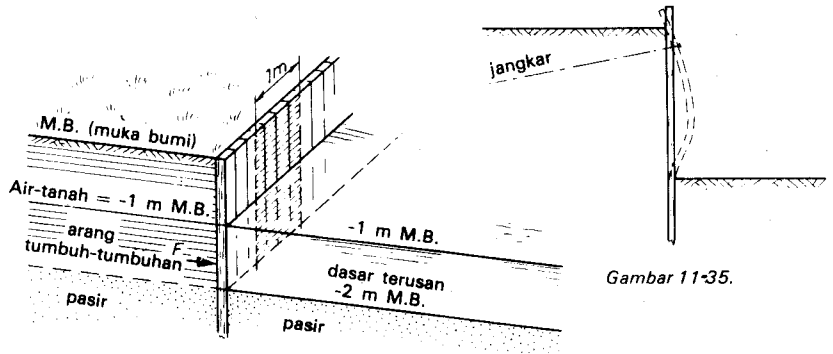
Jalannya tegangan diperlihatkan pada gambar.

Gaya *F* dihitung dari jalannya-tegangan secara segitiga dan dalam contoh ini menangkap kira-kira 2 meter di bawah muka-bumi.

Patut diperhatikan di sini, bahwa dalam contoh 9 dan dalam contoh 10 diperhitungkan bahwa dinding sangat kaku.

Dinding-tanggul sesungguhnya melengkung seperti gambar 11-35.
Oleh karena itu jalannya-tegangan dan gaya *F* berubah, juga faktor-faktor yang lain turut memainkan peranan.

Pada waktu membuat, umpamanya sebuah sumur-bangunan, keadaan yang demikian itu harus diperhatikan. Dalam buku ini tidak akan diperdalam mengenai faktor-faktor tersebut.



Gambar 11-36.

Gambar 11-35.

TUGAS 19

Diketahui: Suatu dinding kayu sepanjang tepi-terusan (gambar 11-36). Di belakang dinding-tanggul terdapat 2 m arang tumbuh-tumbuhan (= veen) yang basah. Air-tanah berada 1 m di bawah muka-bumi. Dinding-tanggul berdiri di atas tanah-pasir yang padat (mulai dari 2 m di bawah muka-bumi) dan dapat dianggap sebagai kukuh.

Ditanyakan: Gaya *F* yang bekerja pada dinding-tanggul tiap meter jalan

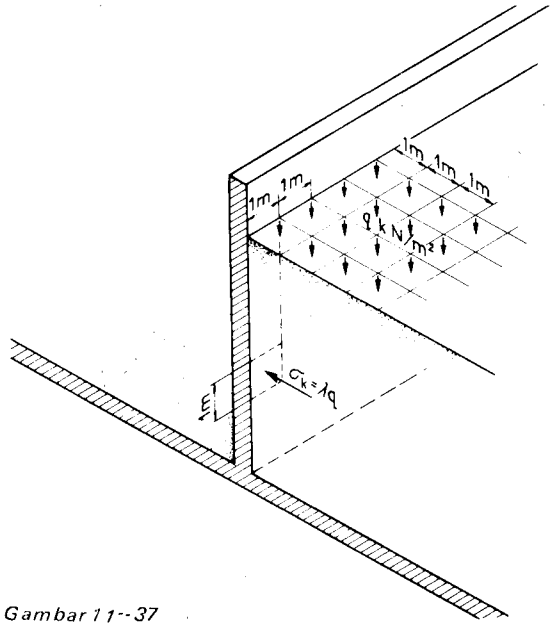
11.7.3 *TEKANAN-TANAH oleh beban-atas*

Bila di atas tanah terdapat beban-atas, maka tegangan yang terjadi karena itu akan merambat ke dalam tanah dan sedemikian rupa, sehingga pada tiap kedalaman sembarangan terjadi suatu tegangan-butiran yang mengarah secara horisontal (gambar 11-37). Untuk tegangan-butiran horisontal ini berlaku:

$$\sigma_{\text{butiran, h}} = \lambda \cdot q$$

Di sini:

$\sigma_{\text{butiran, h}}$ = tegangan-butiran horisontal;
q = beban-atas
λ = faktor yang tergantung dari jenis-tanah (tanpa-dimensi)



Gambar 11-37

TUGAS 20

Tentukanlah tegangan-butiran sebagai akibat dari beban-atas sebesar 10 kN/m², bila jenis-tanah adalah:

- pasir kering;
- arang tumbuh-tumbuhan (veen) kering;
- tanahliat kering.

TUGAS 21

Tentukanlah tegangan-butiran sebagai akibat dari beban-atas sebesar 10 kN/m², bila jenis-tanah adalah:

- pasir basah;
- arang tumbuh-tumbuhan basah;
- tanahliat basah.

CONTOH 11

Diketahui: beban-atas dari tanah didekat sebuah dinding (gambar 11-38).

σ_h = tegangan oleh beban-atas + tegangan oleh tanah + tegangan oleh air.

Ditanyakan: Berapakah besarnya tekanan pada dinding di kedalaman 4 m?

Jawaban:

Beban-atas:

$\sigma_{butiran,\,h} = \lambda \,.\, q = 0{,}4 \times 10\ kN/m^2 = 4\ kN/m^2$

Beban-tanah:

$\sigma_{butiran,\,v} = \rho_{pasir\ basah} \,.\, g \,.\, 2\ m + (\rho_{pasir\ basah} - \rho_w) \,.\, g \,.\, 2\ m$

$= 4\ m \,.\, \rho_{pasir\ basah} \,.\, g - 2\ m \,.\, \rho_w \,.\, g$

$= 4\ m \times 2000\ kg/m^3 \times 10\ m/det^2 - 2\ m \times 1000\ kg/m^3 \times 10\ m/det^2$

$= 80\ kN/m^2 - 20\ kN/m^2 = 60\ kN/m^2$

$\sigma_{butiran,\,h} = \lambda \,.\, \sigma_{butiran,\,v} = 0{,}4 \times 60\ kN/m^2 = 24\ kN/m^2$

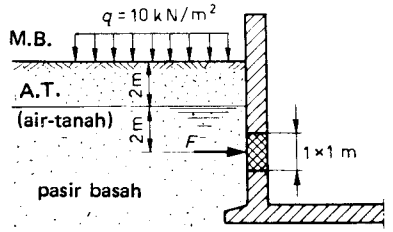
Beban-air:

$\sigma_w = \rho_w \,.\, g \,.\, h$

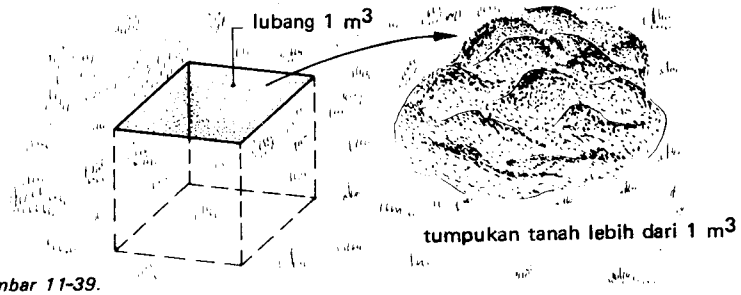
$= 1000\ kg/m^3 \times 10\ m/det^2 \times 2\ m = 20\ kN/m^2$

Jumlah beban horisontal adalah:

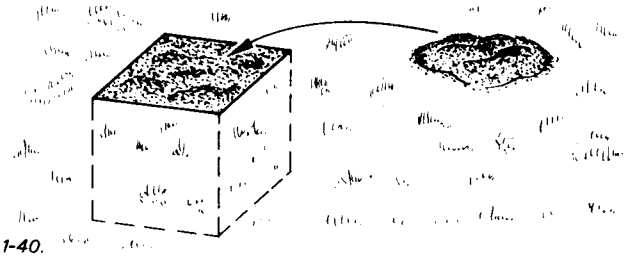
$\sigma_h = 4\ kN/m^2 + 24\ kN/m^2 + 20\ kN/m^2 = 48\ kN/m^2$



Gambar 11-38



Gambar 11-39.



Gambar 11-40.

11.8. Penyerahan dan pemadatan.

Bila dalam tanah digali sebuah lubang (di mana sebelumnya belum pernah diadakan penggalian) dengan volume sebesar 1 m³, maka volume dari tanah yang digali lebih besar daripada 1 m³ (gambar 11-39). Butiran-tanah yang telah digali itu tidak rapat lagi terhadap satu sama lain seperti butiran-tanah dari tanah yang "tidak digali".

"Penyerahan" ini tergantung dari sifat-rapat tanah dan dari jenis tanah. Beberapa data global:

jenis-tanah	*Perbesaran-volume*
Tanahliat dan tanah lempung	20 à 30%
Pasir	10 à 20%

Jikalau lubang yang disebutkan sebelum ini diisi dan dipadatkan kembali dengan tanah yang sama, maka tetap akan tersisa sebagian tanah (gambar 11-40). Penyerahan yang tertinggal ini, untuk pasir berjumlah kurang lebih 2% dan untuk tanahliat kira-kira 7%.

Baru setelah beberapa waktu lamanya butiran-tanah akan memperoleh kembali kerapatannya yang semula, umpamanya oleh tekanan dari massa tanah dan oleh hujan.

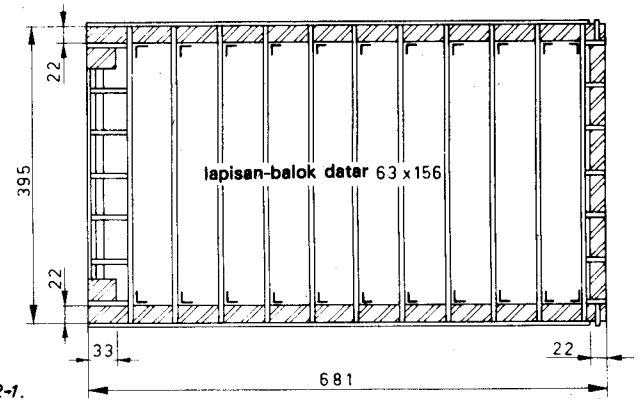
Dalam hal ini dikatakan tentang "pemadatan". Tanah yang telah digali selalu akan memadat. Pada penambahan dan peninggian, harus selalu diberikan "imbuhan-tinggi".
Ingatlah umpamanya kepada pembuatan jalanan.

12. SOAL ULANGAN

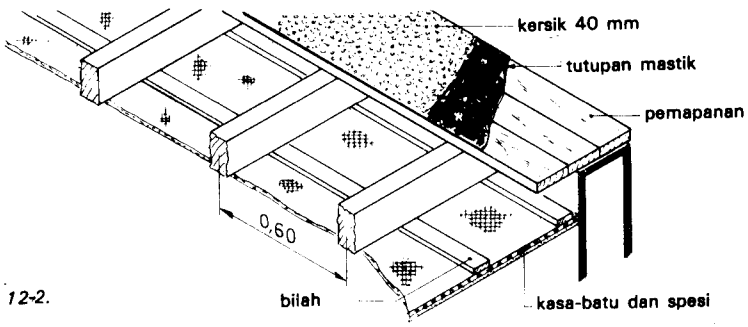
SOAL 1:

Pada gambar 12-1 dilukiskan lapisan-balok datar dari sebuah garasi.

Gambar 12-2 memberikan detail dari konstruksi-atap. Balok-picak (datar) disusun dengan jarak 60 cm dari pusat ke pusat (0,60 pusat ke pusat). Bobot dari kersik, pemapanan, plafon dan sebagainya, berjumlah 1,35 kN/m². Dan ini merupakan beban tetap. Di samping itu, harus pula diperhatikan beban berubah-ubah yang dalam hal ini berjumlah 1 kN/m².
(Lihatlah TGB).



Gambar 12-1.

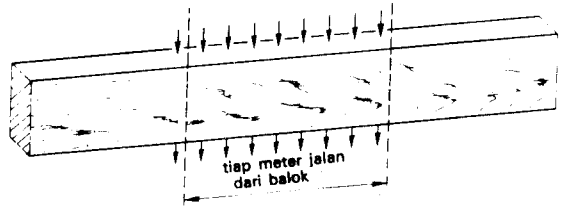


Gambar 12-2.

1. Dapat diumpamakan, bahwa semua balok mendukung beban yang sama besar, termasuk balok-memanjang pada dinding (= strijkbalk).
   * Berapakah besarnya beban yang dipikul oleh tiap balok pada tiap meter-jalan (= strekkende meter)? (gambar 12-3).

   Jawaban: bobot-diri konstruksi-atas = ... kN/m²
   beban berubah-ubah = ... kN/m²
   Jumlah beban konstruksi-atap = ... kN/m²

   Jadi untuk tiap balok: q = ... kN/m² = ... kN/m²



Gambar 12-3.

2. * Hitunglah ukuran-panjang teoretis dari balok, bila anda mengetahui bahwa ukuran itu sama dengan ukuran-bersih (= dagmaat) + 0,15 m (lihat juga gambar 12-4).

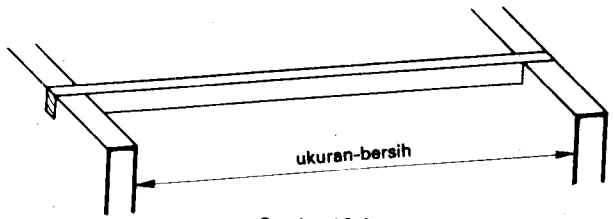
   Jawaban: l = ... + 0,15 m = ...

3. * Berapakah besarnya gaya-letak dari sebuah balok pada hadapan-samping sebelah kanan?

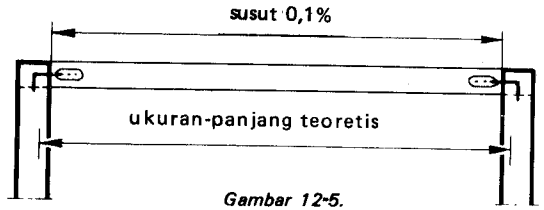
   Jawaban: $F_r = \frac{1}{2} q \,.\, l$ = ... kN = ... 10^3N

4. Balok-picak (= datar) dijangkarkan kepada hadapan=(gevel) dan sesudah itu disusutkan dengan 0,1% dalam arah memanjang. (lihat juga gambar 12-5).
   * Apakah jumlah itu besar ?
   * Berapa mm dinding hadapan itu tertarik terhadap satu sama lainnya?

   Jawaban:
   Hadapan itu tertarik terhadap satu sama lain ..... % ..... = ...mm



Gambar 12-4.



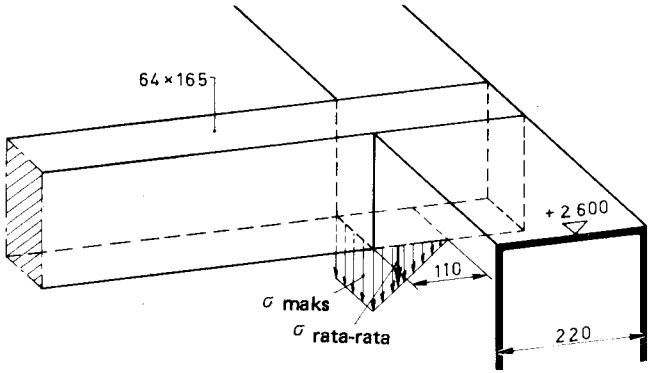
Gambar 12-5.

5. Balok terletak 0,22 m di atas dinding (gambar 12-6).
   * Jikalau ukuran-panjang yang bekerja hanya 11 cm, berapakah besarnya tegangan-tekan rata-rata dalam bidang antara balok dan dinding?
   Jawaban: Bidang-letak A = ... x ..... = 7 . 10^3 mm^2

$$\sigma_{\text{rata-rata}} = \frac{\ldots\ldots\ \text{N}}{7 \times 10\ \text{mm}^2} = \frac{\ldots\ldots}{\ldots\ldots} = 0{,}36\ \text{N/mm}^2$$

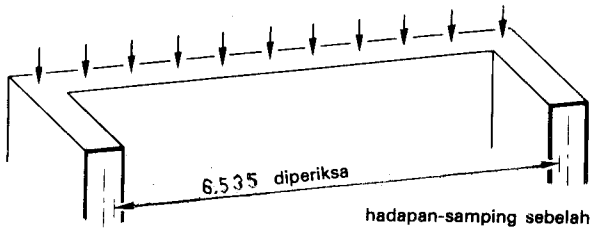
6. * Jikalau jalannya tegangan-tekan σ_d berbentuk segitiga, berapakah besarnya σ_d maksimal?
   Jawaban: σ_d = ... $\sigma_{\text{rata-rata}}$ = ... N/mm²

7. * Apakah tegangan yang dihitung pada soal 6 dapat diizinkan untuk kayu (lihat hal. 40 dari buku ini).
   * Dan pada batu? (lihat pada hal. 47. pada "kelabu-keras").



Gambar 12-6.

8. Lihatlah gambar 12-7.
   * Berapakah besarnya beban yang dipindahkan oleh semua balok kepada hadapan-samping sebelah kanan?
   * Berapakah besarnya beban itu tiap meter-jalan dari hadapan (= gevel)?



Gambar 12-7.

9. * Berapakah besarnya beban dari hadapan-samping sebelah kanan pada tiap meter-jalan pada bidang A – A (gambar 12-8)?
   Untuk masa, lihatlah halaman ... (47).

lapisan-balok	=	kN/m
bobot-diri dinding	=	kN/m
Jumlah	= 17,3	kN/m

10. Fondasi dibuat dalam presi kelabu-petani (= boerengrauw).
    * Apakah beban yang dihitung dalam soal 9 dapat diizinkan pada bidang A – A?

Jawaban: $\sigma_d = \frac{F}{A} = \frac{17{,}3\ \text{kN/m} \times 1{,}00\ \text{m}}{0{,}22 \times 1{,}00\ \text{m}^2} = \frac{\ldots\ldots}{\ldots\ldots} = \ldots\ \text{N/mm}^2$

Sekarang harus $\sigma_d < \bar{\sigma}_d = 1{,}5\ \text{N/mm}^2$

11. Garasi difondasikan di atas tanah-pasir yang padat $\sigma_g = 0{,}3\ \text{N/mm}^2$ (gambar 12-9).
    * Hitunglah ukuran-lebar pemasangan dari fondasi.

Beban pada bidang A–A	=	kN/m
Bobot-diri kaki-fondasi	=	kN/m
Jumlah-bobot di atas tanah	=	kN/m

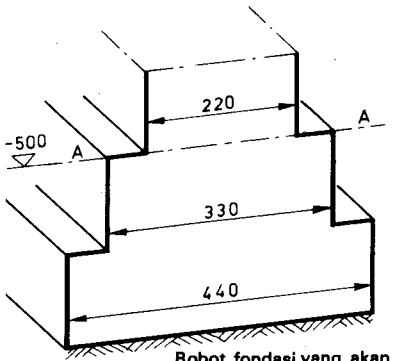
Luas yang dibebani tiap m = A; lebarnya-pemasangan = b
Jadi $A = b \cdot 1\ \text{m} = b\ \text{m}$.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{\ldots\ldots}{\ldots\ldots} = 0{,}3\ \text{N/mm}^2 = 0{,}3\ \text{N/mm}^2 = 0{,}3 \times 10^3\ \text{kN/m}^2$$

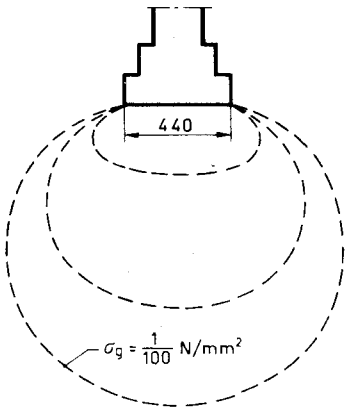
$$b = \frac{\ldots\ldots}{\ldots\ldots} = \ldots\ \text{m} = 6{,}4\ \text{cm}.$$

12. * Apakah sebabnya untuk lebarnya-pemasangan dipilih juga 0,44 m?
    * Berapakah besarnya σ_g?

13. * Tentukanlah dengan bantuan grafik yang bersangkutan pada halaman .... (77) dari buku, pada kedalaman berapakah σ_g menurun sampai 0,01 N/mm².
    Penurunan dari ..... N/mm² sampai 0,01 N/mm² adalah ..... %
    Keadaan ini dicapai pada ..... b = ... x 0,44 m = ... m



Gambar 12-8.



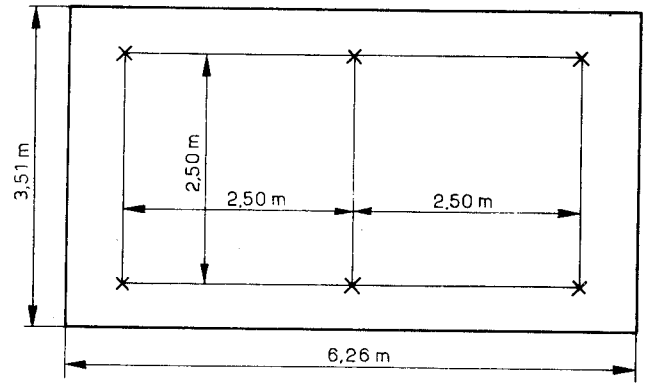
Gambar 12-9

SOAL 2

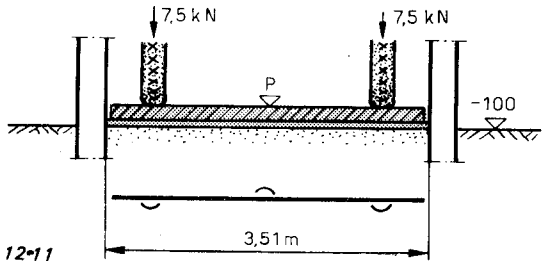
Lantai beton dari garasi dituang di atas pasir yang diairi, yaitu antara dinding (gambar 12-10).

1. * Berapakah beratnya lantai-beton, termasuk lantai-kerja (ukuran tebal 50 mm) pada tiap m²?
   lantai-beton: ..... x 2400 kg/m³ x 10 m/det² = ... kN/m²
   lantai-kerja: 0,05 x 2300 kg/m³ x 10 m/det² = ... kN/m²
   Jumlah ..... + ... kN/m² = 4,00 kN/m²

2. Menurut TGB, di sini harus diperhitungkan beban yang berubah-ubah sebesar 2 kN/m² atau beban yang dikonsentrasikan sebesar 7,5 kN pada tiap titik-silang dari strimin sebesar 2,50 x 2,50 m² (Ingatlah kepada roda mobil). Untuk garasi ini, kedua jenis beban kira-kira sama besar.
   * Periksalah keadaan itu dengan bantuan gambar 12-10 dan 12-11



Gambar 12-10

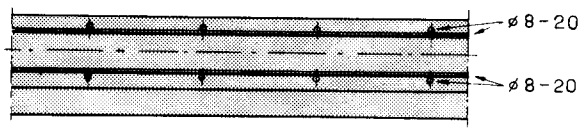


Gambar 12-11

3. * Berapakah besarnya $\sigma_{g\ rata\text{-}rata}$ di bawah lantai-kerja?
   Apakah keadaan ini dapat diizinkan?

4. * Apakah dalam pelat-beton ini dapat terjadi tegangan-lengkung?
   Berilah penjelasan tentang hal ini dengan jalan melukiskan pelengkungan lantai (garis elastis) sebagai akibat dari beban-roda. (Arah-pelengkungan telah ditunjukkan dalam gambar 12-12 dengan bantuan sebuah busur).

5. Dalam bestek diharuskan pemasangan suatu jala-silang sebagai penulangan atas dan bawah dalam pelat.
   * Bagaimanakah menurut anda? Apakah keadaan ini benar?
   Apakah sebabnya?



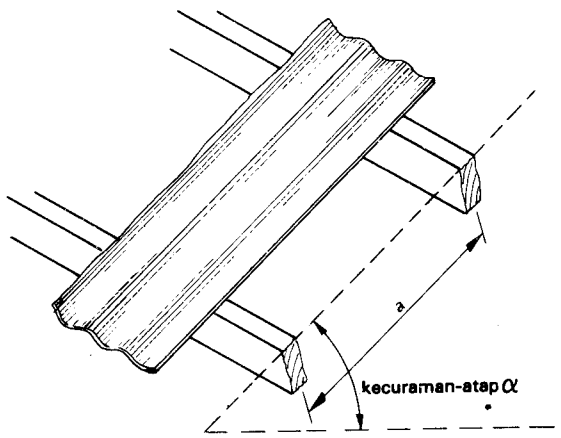
Gambar 12-12

SOAL 3.

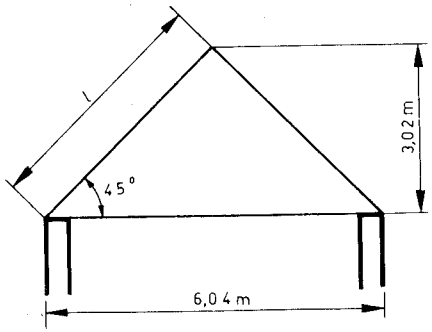
Dalam gambar 12-13 diperlihatkan secara bagan dan dalam penampang, atap dari sebuah bangsal.

Kecuraman-atap α sama dengan 45°.

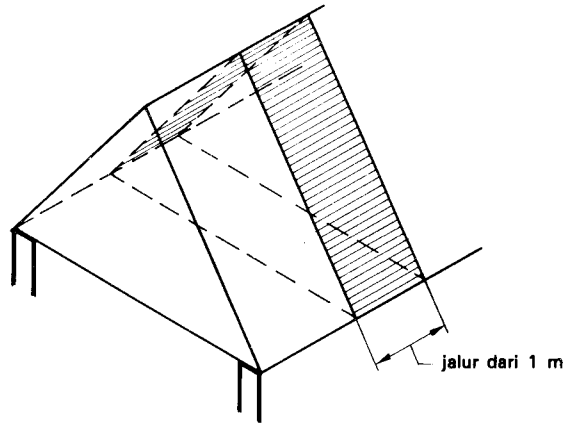
Atap ditutup dengan pelat gelombang. Jarak-gordeng *a* sama dengan 1,42 m.



Gambar 12-13



Gambar 12-14



Gambar 12-15

1. * Berapakah besarnya ukuran-panjang *l* dari satu kulit-atap (lihatlah gambar 12-14).

2. Bobot dari pelat-gelombang dan gordeng sama dengan 0,25 kN/m² bidang atap.
   * Berapakah beratnya suatu jalur atap dari 1 meter?(lihatlah gambar 12-15)
   Jawaban: 2 × 1,0 m × *l* × 0,25 kN/m² = ... kN

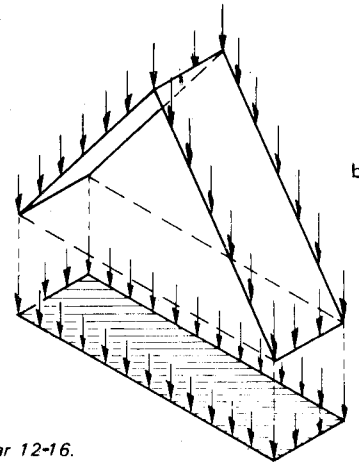
3. Jadi beban yang dihitung pada soal 2 adalah beban di atas bidang atap.
   * Jikalau beban ini diproyeksikan kepada bidang-dasar, berapakah besarnya beban bidang-dasar dalam kN/m²? (lihatlah gambar 12-16).
   Jawaban: $\text{Bobot-diri} = \frac{\text{beban yang dihitung dalam soal 2}}{6{,}04 \times 1 \text{ m}}$

4. * Bila anda mengetahui bahwa $\cos\alpha = \frac{3{,}02 \text{ m}}{l} = 0, \ldots\ldots$, hitunglah beban bobot-diri = 0,25 kN/m² bidang-atap, langsung ke dalam beban yang ditanyakan dalam soal 3.

5. Beban yang berubah-ubah (salju) untuk kecuraman-atap ini berjumlah menurut TGB 0,5 kN/m² bidang-dasar.
   Jadi jumlah beban adalah:

Bobot-diri	= 0,35 kN/m²
Beban yang berubah-ubah	= 0,50 kN/m²
Jumlah beban	= 0,85 kN/m²

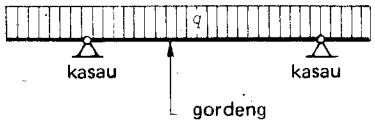
* Jarak-gordeng yang diproyeksikan adalah
  $a \cdot \cos\alpha = 1{,}42 \text{ m} \times \frac{1}{2}\sqrt{2} = \ldots\ldots \text{ m}$ (gambar 12-17)
* Berapakah besarnya beban q di atas satu gordeng pada tiap m'?

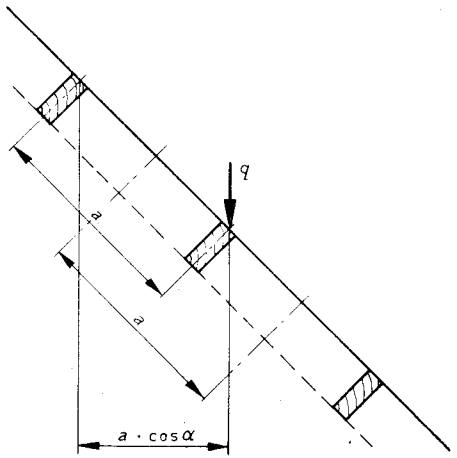


beban di atas bidang atap

beban di atas bidang-dasar

Gambar 12-16.





Gambar 12-17.

6. Berapakah besarnya gaya-letak F dari satu gordeng di atas satu kasau, bila diumpamakan bahwa jarak antara sumbu kasau sama dengan 3,30 m? (lihatlah juga gambar 12-18).
   Jawaban; $F_Q = 3{,}30 \text{ m} \cdot q = \ldots\ldots$

7. * Berapakah besarnya gaya F_R?
   Jawaban: $F_R = \frac{F_Q}{2} + F_Q + F_Q + \frac{F_Q}{2} = 3\,F_Q = \ldots\ldots$

8. Menurut gambar-detail, gaya $\frac{F_Q}{2}$ dalam gordeng-pinggir harus dipindahkan kepada kasau dengan bantuan sebuah pelat-paku. (gambar 12-19). Umpamakanlah, bahwa tiap dari dua buah pelat-paku masing-masing diikatkan dengan paku Nr 12 dan tiap paku dapat memindahkan beban sebesar 250 N (lihat TGB).
   * Apakah jumlah paku itu telah cukup untuk memindahkan $\frac{F_Q}{2}$

9. Pada jarak l = 210 mm, kasau diletakkan di atas sebuah pilaster yang ditembok (gambar 12-20). Ukuran penampang dari batang kasau horisontal adalah 67 × 212 mm².
   * Berapakah besarnya tegangan rata-rata dalam bidang-letak antara kasau dan pilaster?
   Jawaban: $\frac{F_R}{210 \times 67 \text{ mm}^2} = \ldots\ldots\ldots \text{ N/mm}^2$

10. Pilaster itu adalah dari batu-tembok (kelabu-keras) dan kasau dari kayu-api (kayu bangunan standar). Umpamakanlah, bahwa jalannya tegangan berbentuk segitiga.
    Tegangan rata-rata yang dihitung dalam soal 9 adalah

$$\sigma_{\text{rata-rata}} = \frac{\sigma_{\text{maks}}}{2}$$

    * Apakah σ_{maks} dapat diizinkan?